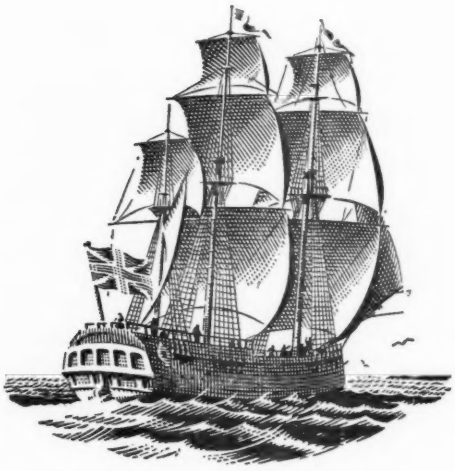
ENDEAVOUR

Revista trimestral, publicada en cinco idiomas, destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad



VOLUMEN XVIII · 1959

INDICE DE AUTORES

ABRAHAM, E. P.: Los antibióticos en microbiología. 212.
AMBARTSUMYAN, V. A.: Las «asociaciones» estelares. 45.
AMOROSO, E. C. *vid.* AUSTIN, C. R. y AMOROSO, E. C.
ANDRADE, E. N. DA C.: Doppler y el efecto Doppler. 14.
ARTICULO ESPECIAL
La ciencia en Israel. 211.
ATZ, James W. y PICKFORD, Grace E.: El empleo de hormonas pituitáricas en piscicultura. 125.
AUSTIN, C. R. y AMOROSO, E. C.: El huevo de los mamíferos. 130.

BARRY, J. M.: La bioquímica de la glándula mamaria. 173.

EDITORIAL
El fin del Año Geofísico Internacional. 3.
Svante Arrhenius (1859–1927). 59.
La exploración del espacio. 115.
El centenario de la espectroquímica. 171.

FRASER, F. C. y PURVES, P. E.: El oído de los cetáceos. 93.

HALL, E. T. El uso de la espectroscopía mediante rayos X de fluorescencia en el análisis químico. 83.
HUBBARD, C. E.: El bicentenario de los Reales Jardines Botánicos de Kew. 156.

JONES, Sir Harold Spencer: El Consejo Internacional de Uniones Científicas. 88.
JUNIPER, B. E.: La superficie de las plantas. 20.

KETTLEWELL, H. B. D.: Las adaptaciones en los insectos brasileños. 200.
KING, H. C.: El planetario. 35.

LAUGHTON, A. S.: La fotografía de los fondos oceánicos. 178.
LEHMANN, I.: El interior de la Tierra revelado por los terremotos. 99.
LUNDEGÅRDH, H.: Técnicas espectrofotométricas para estudiar las enzimas respiratorias en material vivo. 191.

MALAN, D. J.: Relámpagos. 61.
MCKIE, Douglas: La teoría del flogisto. 144.

OPDYKE, N. D. y RUNCORN, S. K.: El paleomagnetismo y las direcciones de los vientos antiguos. 26.

PICKFORD, Grace E. *vid.* ATZ, James W. y PICKFORD, Grace E.
PURVES, P. E. *vid.* FRASER, F. C. y PURVES, P. E.

RAISTRICK, A.: Los Darbys de Coalbrookdale. 186.
RUNCORN, S. K. *vid.* OPDYKE, N. D. y RUNCORN, S. K.

SEABORG, Glenn T.: Los elementos transuránicos. 5.
SMEATON, W. A.: A. F. de Fourcroy y la teoría antiflogística. 70.
STEERS, J. A.: Marismas. 75.
SUTTON, J.: Las rocas cristalinas y el paso del tiempo. 148.

VAN DE HULST, H. C.: La estructura galáctica y la línea de la microonda de 21 centímetros. 117.

REVISTA DE LIBROS

AMBARTSUMYAN, V. A. (Director de la edición): Theoretical Astrophysics. (Traducción inglesa del ruso por J. B. Sykes.) 52.

BAER, Jean G.: Cours d'anatomie comparée des vertébrés. 222.
BARNETT, S. A. (Compilador): A Century of Darwin. 53.
BASOLO, F. y PEARSON, R. G.: Mechanisms of Inorganic Reactions. 52.
BERKNER, L. V. (Compilador): Rockets and Satellites. 162.
BEYER, H.: Lehrbuch der organischen Chemie (5ª edición). 106.
BOAS, Marie: Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry. 222.
BONNER, J. T.: The Evolution of Development. 107.
BRAESTRUP, C. B. y WYCKOFF, H. O. Radiation Protection. 164.
Brevets d'invention français, 1791–1902: Un siècle de progrès technique. 110.
BRISTOWE, W. S.: The World of Spiders. 222.
British Medical Bulletin, Vol. XIV, No. 2, Causation of Cancer, 109. Vol XV, No. 1, Symposium on Haematology. 164.
BROWN, G. I.: An Introduction to Electronic Theories of Organic Chemistry. 106.

CHALLENGER, F.: Aspects of the Organic Chemistry of Sulphur. 221.
Ciba Foundation Symposium (Compilado por G. E. W. Wolstenholme y C. M. O'Connor). Medical Biology and Etruscan Origins. 163.
Ciba Foundation Symposia (Compilado por G. E. W. Wolstenholme y M. O'Connor): The Chemistry and Biology of Mucopolysaccharides. 53. Biosynthesis of Terpenes and Sterols. 221.
CLOUDSLEY-THOMPSON, J. L.: Spiders, Scorpions, Centipedes and Mites. The Ecology and Natural History of Woodlice, 'Myriapods' and Arachnids. 108.
CONANT, J. B. (Compilador): Harvard Case Histories in Experimental Science, Vols. I y II. 52.
COOK, A. H. (Compilador): The Chemistry and Biology of Yeasts. 163.

D'ARCY THOMPSON, Ruth: D'Arcy Wentworth Thompson, the Scholar-naturalist. 110.
DAVIES, M., EDDISON, R. T. y PAGE, T. (Compiladores): Proceedings of the First International Conference on Operational Research, Oxford, 1957. 106.
DIXON, M. y WEBB, E. C.: Enzymes. 108.
DOREMUS, R. H., ROBERTS, B. W. y TURNBULL, C. (Compiladores): Growth and Perfection of Crystals. 221.
DUGAS, René: A History of Mechanics. (Traducción del francés por J. R. Maddox.) 54.

EISENBUD, L. y WIGNER, E. P.: Nuclear Structure. 161.

FORBES, R. J.: Man the Maker: A History of Technology and Engineering. 223.

FOX, J. (Compilador): Proceedings of the Symposium on Electronic Waveguides, Nueva York, abril de 1958. 164.

GRASSÉ, P.-P. (Compilador): Traité de zoologie: anatomie, systématique, biologie, Vol. XIII. 221.
GRUMBACH, A. y KIKUTH, W. (Compiladores): Die Infektionskrankheiten des Menschen und ihre Erreger, Vols. I y II. 109.

HABER, L. F.: The Chemical Industry during the Nineteenth Century. 54.
HANSEN, M. (con la colaboración de ANDERKO, K.): Constitution of Binary Alloys (2ª edición). 165.
HANSON, N. R.: Patterns of Discovery. 166.
HAW, R. C.: The Conservation of Natural Resources. 165.
HUDSON, J. P. (Compilador): Control of the Plant Environment. 53.
HUGHES, Arthur: A History of Cytology. 223.

KEEVIL, J. J.: Medicine and the Navy 1200–1900, Vol. II, 1649–1714. 110.

LAIDLER, K. J.: The Chemical Kinetics of Enzyme Action. 108.
LANDAU, L. D. y LIFSHITZ, E. M.: Quantum Mechanics. Non-Relativistic Theory. (Traducción inglesa del ruso de J. B. Sykes y J. S. Bell.) 161.
LINNAEUS, Carl: Species Plantarum (Facsímil). Vols. I y II. 223.
LOVELL, A. C. B.: The Individual and the Universe. 161.

MASSEY, H. S. W. y BOYD, R. L. F.: The Upper Atmosphere. 163.
MERRIMAN, A. D.: A Dictionary of Metallurgy. 165.
MILLET, J. y ANTHONY, J.: Anatomie de *Latimeria chalumnae*. Vol. I, Squelette et muscles. 163.

NEUBERGER, A. (Compilador): Symposium on Protein Structure. 107.
Nuclear Explosions and their Effects. Prefacio de Jawaharlal Nehru. 164.

O'CONNELL, D. J. K.: The Green Flash and Other Low Sun Phenomena (2ª edición). 163.

PACKER, J. y VAUGHAN, J.: A Modern Approach to Organic Chemistry. 107.
PASCAL, P. (Director de la edición): Nouveau traité de chimie minérale, Vols. III y IV. 162.
PIVETEAU, Jean: Traité de paléontologie, Vol. VII, Primates: paléontologie humaine. 52.
POYNTER, F. N. L. (Compilador): The History and Philosophy of Knowledge of the Brain and its Functions. 223.

RAVEN, C. P.: Morphogenesis: The Analysis of Molluscan Development. 109.
RAWER, K.: The Ionosphere. 107.

SANTILLANA, Giorgio de: The Crime of Galileo. 54.
SCOTT, J. F.: A History of Mathematics. 54.
SCURTI, J. Ceruti: Le Malattie delle Piante, Parte I, Malattie da virus e da parassiti vegetali. 165.
SEGRÈ, E. (Compilador): Annual Review of Nuclear Science, Vol. VIII. 220.
SEMENOV, N. N.: Some Problems of Chemical Kinetics and Reactivity, Vol. I. (Traducción inglesa del ruso por J. E. S. Bradley.) 162.
SHOPPEE, C. W.: Chemistry of the Steroids. 52.
SINGER, Charles, HOLMYARD, E. J., HALL, A. R. y WILLIAMS, Trevor I. (Compiladores): A History of Technology, Vol. IV. 166.
SMITH, I. (Compilador): Chromatographic Techniques: Clinical and Biochemical Applications. 106.
TAYLOR, James. Solid Propellent and Exothermic Compositions. 222.
THIMANN, K. V. asistido por CRITCHFIELD, W. B. y ZIMMERMANN, M. H. (Compiladores): The Physiology of Forest Trees. 108.
THORNDIKE, Lynn: A History of Magic and Experimental Science, Vols. VII y VIII: The Seventeenth Century. 109.
VOGEL, A. I.: Elementary Practical Organic Chemistry. 106.
WILSON, J. G. y WOUTHUYSEN, S. A. (Compiladores): Progress in Elementary Particle and Cosmic Ray Physics, Vol. IV. 161.

INDICE DE MATERIAS

La clasificación de los artículos por materias va ordenada según el sistema de Clasificación Decimal Universal (Standard británico 1000) (Edición española abreviada, Madrid. 1953). En la página IV aparece una clave alfabética.

06 INSTITUCIONES CIENTIFICAS

061.22(100):5 El Consejo Internacional de Uniones Científicas. JONES, Sir Harold Spencer. 88.
061.6 :53/59(569.4) La ciencia en Israel. 211.

5 CIENCIA GENERAL

5:061.22(100) El Consejo Internacional de Uniones Científicas. JONES, Sir Harold Spencer. 88.
53/59 :061.6(569.4) La ciencia en Israel. 211.

52 ASTRONOMIA

523.28:93 El planetario. KING, H. C. 35.
523.851 Las «asociaciones» estelares. AMBARTSUMYAN, V. A. 45.
523.872 :621.396.9 La estructura galáctica y la línea de la microonda de 21 centímetros. VAN DE HULST, H. C. 117.

53 FISICA

530.1:534.22 :92 Doppler y el efecto Doppler. ANDRADE, E. N. DA C. 14.
534.22:92 :530.1 *Idem.*
535.372 :543.426 El uso de la espectroscopía mediante rayos X de fluorescencia en el análisis químico. HALL, E. T. 83.

54 QUIMICA

541.13:92 :070.432 Svante Arrhenius (1859–1927) (Editorial). 59.
541.2(091):92 A. F. de Fourcroy y la teoría antiflogística. SMEATON, W. A. 70.
541.2(091.2):93 La teoría del flogisto. MCKIE, Douglas. 144.
543.42:93 :070.432 El centenario de la espectroquímica (Editorial). 171.
543.42.062 :577.158.1 :581.12 Técnicas espectrofotométricas para estudiar las enzimas respiratorias en material vivo. LUNDEGÅRDH, H. 191.
543.426 :535.372 El uso de la espectroscopía mediante rayos X de fluorescencia en el análisis químico. HALL, E. T. 83.
546.799 Los elementos transuránicos. SEABORG, Glenn T. 5.

55 GEOLOGIA. GEOFISICA

550(100) :070.432 El fin del Año Geofísico Internacional (Editorial). 3.
550.341:551.16 El interior de la Tierra revelado por los terremotos. LEHMANN, I. 99.
550.384:552.1 :551.8 El paleomagnetismo y las direcciones de los vientos antiguos. OPDYKE, N. D. y RUNCORN, S. K. 26.
551.16:550.341 El interior de la Tierra revelado por los terremotos. LEHMANN, I. 99.
551.462.018 :778.3 :591.9(26.03) La fotografía de los fondos oceánicos. LAUGHTON, A. S. 178.
551.481.26 :581.526.522 Marismas. STEERS, J. A. 75.
551.594.2 Relámpagos. MALAN, D. J. 61.
551.8:550.384 :552.1 El paleomagnetismo y las direcciones de los vientos antiguos. OPDYKE, N. D. y RUNCORN, S. K. 26.
552.1:550.384 :551.8 *Idem.*
552.11 Las rocas cristalinas y el paso del tiempo. SUTTON, J. 148.

57 CIENCIAS BIOLOGICAS

575.4:595.7 :591.155 Las adaptaciones en los insectos brasileños. KETTLEWELL, H. B. D. 200.
576.312.2 :577.11 :615.779 Los antibióticos en microbiología. ABRAHAM, E. P. 212.
577.11:615.779 :576.312.2 *Idem.*
577.15:591.146 La bioquímica de la glándula mamaria. BARRY, J. M. 173.
577.158.1 :543.42.062 :581.12 Técnicas espectrofotométricas para estudiar las enzimas respiratorias en material vivo. LUNDEGÅRDH, H. 191.
577.18 :591.481.2 :639.3 El empleo de hormonas pituitáricas en piscicultura. ATZ, James W. y PICKFORD, Grace E. 125.

58 BOTANICA

58.006(421.9) El bicentenario de los Reales Jardines Botánicos de Kew. HUBBARD, C. E. 156.
581.111.3 :581.451 La superficie de las plantas. JUNIPER, B. E. 20.
581.12 :577.158.1 :543.42.062 Técnicas espectrofotométricas para estudiar las enzimas respiratorias en material vivo. LUNDEGÅRDH, H. 191.
581.451 :581.111.3 La superficie de las plantas. JUNIPER, B. E. 20.
581.526.522 :551.481.26 Marismas. STEERS, J. A. 75.

59 ZOOLOGIA

591.146:577.15 La bioquímica de la glándula mamaria. BARRY, J. M. 173.

591.155:595.7 :575.4 Las adaptaciones en los insectos brasileños. KETTLEWELL, H. B. D. 200.

591.465.1 El huevo de los mamíferos. AUSTIN, C. R. y AMOROSO, E. C. 130.

591.481.2 :577.18:639.3 El empleo de hormonas pituitáricas en piscicultura. ATZ, James W. y PICKFORD, Grace E. 125.

591.485:599.5 El oído de los cetáceos. FRASER, F. C. y PURVES, P. E. 93.

591.9(26.03) :778.3 :551.462.018 La fotografía de los fondos oceánicos. LAUGHTON, A. S. 178.

595.7:575.4 :591.155 Las adaptaciones en los insectos brasileños. KETTLEWELL, H. B. D. 200.

599.5:591.485 El oído de los cetáceos. FRASER, F. C. y PURVES, P. E. 93.

61 MEDICINA

615.779 :577.11 :576.312.2 Los antibióticos en microbiología. ABRAHAM, E. P. 212.

62 INGENIERIA. RADIOCOMUNICACION

621.396.9 :523.872 La estructura galáctica y la línea de la microonda de 21 centímetros. VAN DE HULST, H. C. 117.

629.19:070.432 La exploración del espacio (Editorial). 115.

63 AGRICULTURA. PESCA

639.3:577.18 :591.481.2 El empleo de hormonas pituitáricas en piscicultura. ATZ, James W. y PICKFORD, Grace E. 125.

66 METALURGIA

669.162.16 :92(424) Los Darbys de Coalbrookdale. RAISTRICK, A. 186.

77 FOTOGRAFIA

778.3 :591.9(26.03) :551.462.018 La fotografía de los fondos oceánicos. LAUGHTON, A. S. 178.

9 BIOGRAFIAS. HISTORIA DE LA CIENCIA

92:534.22:530.1 Doppler y el efecto Doppler. ANDRADE, E. N. DA C. 14.

92:541.13 :070.432 Svante Arrhenius (1859–1927) (Editorial). 59.

92:541.2(091) A. F. de Fourcroy y la teoría antiflogística. SMEATON, W. A. 70.

92(424) :669.162.16 Los Darbys de Coalbrookdale. RAISTRICK, A. 186.

93:523.28 El planetario. KING, H. C. 35.

93:541.2(091.2) La teoría del flogisto. MCKIE, Douglas. 144.

93:543.42 :070.432 El centenario de la espectroquímica (Editorial). 171.

CLAVE ALFABETICA

Acústica 534
Análisis químico
  Métodos con rayos X 543.4
Año Geofísico Internacional 550
Antibióticos 615.779
Arrhenius, Svante 92
Asociaciones estelares 523.851
Astrofsiíca 52
Astronáutica 629.19
Astronomía 523

Bacteriología 576
Biografía 92
Biología 57/59
Bioquímica 577.1
Botánica 58
  Vegetación de las marismas 581.5

Cetáceos, oído de 599.5
Citología 576.3
Consejo Internacional de Uniones Científicas 061.22

Darbys, fundidores de hierro 92
Doppler, efecto de 534.22

Electricidad atmosférica 551.594
Elementos transuránicos 546.799
Embriología 591.4
Entomología 595.7
Enzimas respiratorias 581.12
Espectrofotometría 543.52
Espectroquímica 543
Espectroscopía mediante rayos X 537.53
Estratigrafía 552
Estructura galáctica 523.872
Exploración del espacio 629.19

Física 53
Fisiología
  Oído 591.485
Flogisto 54
Fluorescencia con rayos X 525.372
Fotografía
  Fondos oceánicos 778.3
Fourcroy, A. F. de 92

Galaxias 523.8
Geofísica 55
Geología 55
Glándula mamaria 591.146
Glándula pituitaria 591.481.2

Hipófisis 591.481.2
Historia de la ciencia 93
Hojas
  Estructura superficial 581.451
Hormonas pituitáricas 577.18

Huevo de los mamíferos 591.465.41

Insectos
  Adaptaciones biológicas 595.7
Instituto Weizmann 061.6
Israel, ciencia en 53/59

Jardines botánicos 58.006

Kew, Jardines Botánicos 58.006

Lactación
  Bioquímica 591.146
Leche
  Bioquímica 577.15
Línea de 21-centímetros 523.872

Magnetismo terrestre 550.38
Mamíferos
  Huevo 591.465.1
Manglares 581.526.4
Marismas 551.481.26
Medicina 61
Metalurgia
  Historia 669
Microbiología 576.3
Mimetismo animal 591.155

Oceanografía 551.461
Oído de los cetáceos 591.485

Paleomagnetismo 551.8
Petrología 552
Piscicultura 639.3
Planetarios 523.28
Plantas
  Superficies 581.113

Quemoterapéutica 615.7

Radio-astronomía 621.396.9
Radiocomunicación 621.396
Relámpagos 551.594.2
Respiración de plantas 577.158
Rocas cristalinas 552.11
  Magnetización 552.1

Siderurgia 669.162.6
Sismología 550.341
Sistema periódico 546
Superficies vegetales 581.113

Teoría evolucionista 575.4
Teoría flogística 54
Terremotos 550.341
Tierra
  Interior 551.16

Vientos antiguos, direcciones 551

Zoología 59
  Fauna submarina 591.9

Impreso en la Gran Bretaña en THE KYNOCH PRESS, *Witton, Birmingham, 6, para los editores,*
IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED, *Londres, S.W.1*

ENDEAVOUR

Revista trimestral, publicada en cinco idiomas, destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad

---

VOLUMEN XVIII Enero 1959 NUMERO 69

SUMARIO

550(100):070.432
Editorial: El fin del Año Geofísico Internacional 3

546.799
Los elementos transuránicos — GLENN T. SEABORG — 5

530.1:534.22:92
Doppler y el efecto Doppler — E. N. DA C. ANDRADE — 14

581.111.3:581.451
La superficie de las plantas — B. E. JUNIPER — 20

551.8:550.384:552.1
El paleomagnetismo y las direcciones de los vientos antiguos — N. D. OPDYKE y S. K. RUNCORN — 26

523.28:93
El planetario — H. C. KING — 35

523.851
Las «asociaciones» estelares — V. A. AMBARTSUMYAN — 45

049.3
Revista de libros 52

Revistas resumidas de libros 55

Notas sobre los colaboradores 56

Libros recibidos .. .. Cubierta III

Redactor-jefe: TREVOR I. WILLIAMS
Redactores auxiliares: G. N. J. BECK (*Ediciones extranjeras*)
W. A. OSMAN

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

El fin del Año Geofísico Internacional

El 31 de diciembre de 1958 han terminado las observaciones físicas coordinadas del Sol y de la Tierra que han recibido el nombre de Año Geofísico Internacional. Esta fase de observación recién terminada exigió cuatro años de activa preparación, e irá seguida de otro largo período durante el cual las observaciones obtenidas serán comparadas, comunicadas, analizadas, interpretadas y discutidas. Las tres fases de preparación, observación e interpretación no han tenido, con todo, límites tan precisos como pudiera indicar lo expuesto. Ciertas actividades de la fase observacional comenzaron antes del 1° de julio de 1957, y algunas continuarán después del 31 de diciembre de 1958; del mismo modo, la colección y discusión de los datos obtenidos comenzó inmediatamente después de la iniciación del A.G.I.

Colaboran en esta empresa más de sesenta naciones. La amplitud de su desarrollo, que la ha convertido en la observación mediante cooperación internacional más extensa hasta hoy conocida, ha asombrado hasta a sus iniciadores. De éstos, el más importante ha sido Lloyd V. Berkner, quien en 1950 propuso la celebración en 1957–58 de un tercer Año Polar Internacional que continuara la labor de los ya celebrados en 1882–83 y 1932–33.

La organización se ha caracterizado por la simplicidad de los métodos. Se han reducido al máximo los formulismos, y la administración central ha sido muy limitada, en costo y personal, si se tiene en cuenta la magnitud de la empresa. Sus pilares básicos han sido las academias científicas nacionales, que nombraron los comités organizadores de los programas nacionales conforme a los planes establecidos internacionalmente. A ellas correspondió además convencer a sus propios gobiernos de la importancia de dichos planes y de la necesidad de dotar de fondos a los participantes nacionales. Las academias e instituciones nacionales similares estimularon además el interés de la prensa, mediante la cual se consiguió que el gran público conociera el A.G.I.

Ya en 1950 se presumía que en 1957–58 se produciría un período de máxima actividad solar: así ha sido; la actividad solar durante estos años ha alcanzado un nivel sin precedentes en los dos siglos últimos. Por consiguiente, se han observado numerosas fulguraciones solares de especial interés, así como auroras, tempestades magnéticas e ionosféricas, que influyen sobre los rayos cósmicos. Los resultados científicos han sido tan numerosos que nos es imposible reseñarlos aquí.

Dos características de especial interés han sido las observaciones en las regiones antárticas y el lanzamiento de satélites artificiales. Gracias a las primeras, nuestros conocimientos de dicho continente han progresado considerablemente; su exploración continuará ininterrumpida, aunque en menor escala, durante 1959. Al iniciarse el A.G.I., la parte de su programa referente al uso de satélites era poco más que una esperanza acompañada de muchas dudas. El lanzamiento del primer satélite ruso el 4 de octubre de 1957 inició una época nueva en la historia de nuestra raza; al celebrarse en Moscú la reunión final del Comité Central Organizador en Agosto de 1958 se habían lanzado otros seis más: dos rusos y cuatro norteamericanos. Ya se han conseguido gracias a ellos importantes resultados, aunque muchos de los datos obtenidos están todavía por estudiar y publicar. Pero se sabe ya por ellos que la atmósfera terrestre se extiende mucho más allá de lo que hasta ahora se suponía, y que a unos centenares de kilómetros existe una capa — hasta hoy desconocida — en la que hay electrones de considerable energía, aunque mucho menor que la de los rayos cósmicos.

En un mundo dividido por profundas tensiones políticas, el A.G.I. ha sido una fuerza unificadora y ha servido para destruir barreras entre los científicos de todas las naciones, quienes han sabido colaborar cordialmente. En la organización han podido participar las instituciones científicas de todos los países, sin consideraciones de color, raza, religión y forma de gobierno. Entre las ausencias — siempre lamentables — sólo una puede atribuirse a consideraciones políticas.

El Año Geofísico Internacional ha sido asimismo una fuerza de unión entre las ramas científicas que se ocupan de los fenómenos geofísicos y solares. Desde el punto de vista internacional, dichas disciplinas son ya desde hace tiempo objeto de estudio de algunas uniones internacionales: de Geodesia y Geofísica, de Astronomía, Radiocientífica, de Física Pura y Aplicada, de Geografía, etc. Todas estas, a su vez, forman uno de los campos de competencia del Consejo Internacional de Uniones Científicas, compuesto de representantes de las Uniones y de las instituciones científicas nacionales. El órgano central encargado de la estructuración del A.G.I. — su Comité

Especial (CEAGI) — representa el Consejo Internacional y las Uniones (y no las naciones a las que éstas pertenecen). El CEAGI ha sido ayudado en su labor por un Consejo Asesor compuesto de un representante de cada nación o territorio que han colaborado en la empresa. Ya en el pasado ha existido intensa colaboración entre los investigadores de las diversas ramas de la geofísica y heliofísica, pero nunca hasta hoy esa cooperación ha sido tan efectiva, íntima y extensa.

En la ejecución de las tareas que se les ha encomendado, las naciones han cooperado amplia y generosamente: cada país ha hecho todo lo que ha estado a su alcance, por sus propios medios, habiéndose dado no pocos casos de ayuda mutua. El mismo principio de liberalidad ha regido el uso de las observaciones realizadas: los datos obtenidos se han facilitado a los científicos de todas las naciones, sin tener en cuenta el que éstas hayan contribuido mucho, poco o nada a la tarea del A.G.I.

Los gastos de la organización central — secretaría, reuniones, publicaciones, etc. — se han sufragado con fondos de diversas procedencias. Inicialmente, el Consejo Internacional de Uniones Científicas fue la única fuente. A continuación, la UNESCO aportó su generoso apoyo, económico y de otros órdenes. Más tarde, los comités nacionales participantes aportaron libremente fondos al CEAGI. Además de estas contribuciones monetarias debemos mencionar los servicios que han dedicado a la empresa decenas de millares de personas — científicos y administradores —, a veces en condiciones de extrema dureza: en los trópicos y en el polo, o en medio del oceano. En todas las partes del mundo ha habido hombres y mujeres que han servido con un entusiasmo y lealtad poco comunes la causa del A.G.I. Su objetivo ha sido el progreso del conocimiento, pero les ha movido además un sentimiento de solidaridad humana en una empresa al servicio del mundo todo.

Tal idealismo, acompañado de un espíritu de amistosa emulación, ha caracterizado multitud de actividades del A.G.I. Uno de los problemas más señalados era la revisión de nuestros conocimientos de los fenómenos físicos que tienen lugar en el Sol; para ello se han inventado numerosos instrumentos utilizados desde la tierra, el mar y el aire, lo que a veces exigía una compleja organización. Se han creado además nuevas instituciones, tales como los centros de pronóstico de las alteraciones energéticas causadas en la Tierra por las tempestades solares, y los Centros Mundiales de Datos, en los que se archivarán las observaciones y se pondrán a disposición de los investigadores del mundo entero. Para ayudar a la organización de esos Centros se nombró en 1956 un Coordinador, que cesará en sus funciones a fines del presente año, sin que por ello dejen de funcionar los Centros mismos. El Centro de Pronósticos Solares y el complejo sistema de comunicaciones con él relacionado se ha encontrado bajo la dirección de uno de los catorce Relatores del CEAGI, a cada uno de los cuales competía el adecuado funcionamiento de una sección del plan general.

Doce de esos Relatores se han ocupado de doce secciones importantes del programa: meteorología, geomagnetismo, auroras y luminiscencia del aire, ionosfera, actividad solar, rayos cósmicos, latitudes y longitudes, oceanografía, glaciología, sismología, gravimetría, y radiaciones nucleares. Otro Relator se ha hecho cargo del programa de cohetes y satélites, relacionado con diversas de las secciones mencionadas. Las actividades de esos relatores continuarán durante la tercera fase del programa.

En Agosto de 1958, el CEAGI celebró una reunión final en Moscú para aprobar los planes de la tercera fase. Aparte de estudiar los programas para la colección, publicación e interpretación de los datos, también se discutieron otras observaciones ya realizadas. En esa reunión, el comité ruso propuso la extensión del A.G.I. hasta el fin de 1959, señalando que los gastos ya realizados para montar las estaciones necesarias para los diversos tipos de observación justificaban su mantenimiento, especialmente en el caso de aquellas estaciones que habían comenzado a funcionar tarde. El comité ruso también propuso, siendo aceptado, que el Consejo Internacional de Uniones Científicas organizase la continuación de ciertas actividades del A.G.I. aun después de clausurado el programa principal de éste. El Comité Especial aprobó asimismo la continuación del programa en lo que se refiere a aquellas actividades de que pueden hacerse cargo los comités nacionales, con el nombre de Corporación Geofísica Internacional 1959. Y así, aunque el período de observaciones que ha recibido el título de Año Geofísico Internacional ha terminado, gran parte de su programa e instituciones continuarán funcionando, al menos durante un año más. Durante éste y los venideros se llevará a cabo la gradual labor de interpretación del enorme número de datos hasta ahora obtenidos.

Los elementos transuránicos

GLENN T. SEABORG

Hace veinte años no se conocía ningún elemento transuránico; en la actualidad se conocen diez, todos esencialmente sintéticos, y parece inminente el descubrimiento de algunos más. La preparación e identificación de estos elementos ha exigido el uso de nuevas técnicas de bombardeo y de nuevos métodos de análisis aplicables a pequeñas cantidades de elementos de vida muy corta. Estas técnicas y sus resultados son tratados en este artículo por un especialista que durante muchos años ha tomado parte importante en estas investigaciones.

El estudio de los elementos transuránicos constituye una rama apasionante de la ciencia, nacida hace menos de veinte años y con un futuro lleno de promesas. Estos elementos representan la realización del sueño de los alquimistas de transmutar los elementos, y han tenido papel muy importante en el renacimiento de la química inorgánica. Como es de suponer, progreso tan importante como es un aumento del 10% en el número de los elementos químicos ha contribuído en gran manera a enriquecer el caudal de nuestros conocimientos científicos fundamentales, especialmente en los campos de la química y la física.

La química y la física de los primeros elementos transuránicos conocidos están ya notablemente desarrolladas y son extraordinariamente interesantes. El neptunio, por ejemplo, tiene un isótopo de vida suficientemente larga para que se pueda manejar sin peligro tomando sólo ciertas precauciones en un laboratorio corriente; igualmente, existen isótopos del plutonio y del curio con vida suficientemente larga para permitir llevar a cabo investigaciones más amplias en todo el mundo cuando estos elementos sean más asequibles. Además, el plutonio es particularmente interesante desde muchos puntos de vista: tiene un isótopo cuyas propiedades le han llevado a representar un papel extraordinariamente importante en la historia de la humanidad; su descubrimiento y el desarrollo de métodos para su fabricación se llevaron a cabo bajo el más absoluto secreto durante la última guerra, y fue el primer elemento sintético que logró ver el hombre y también el primer ejemplo de producción en gran escala de un elemento por transmutación. El plutonio tiene propiedades químicas y metalúrgicas muy poco corrientes. Por ejemplo, se presenta en cuatro estados de oxidación capaces de existir en equilibrio en solución acuosa en cantidades apreciables; la forma metálica se presenta en seis modificaciones alotrópicas distintas entre la temperatura ambiente y el punto de fusión, algunas de ellas con propiedades desconocidas en ningún otro metal; su radiación alfa y el comportamiento fisiológico de su isótopo fisible, ^{239}Pu, le hacen uno de los tóxicos más peligrosos que se conocen. Su descubrimiento se hizo público con la bomba atómica arrojada sobre Nagasaki. El plutonio tiene un gran porvenir en la producción de energía atómica y ha convertido al ^{238}U, del cual se origina y que por sí sólo no es fisible con neutrones lentos, en un posible combustible nuclear, ya que se puede «quemar» ^{238}U pasando por ^{239}Pu fisible.

El descubrimiento del primer elemento transuránico se anunció equivocadamente seis años antes de la fecha en que realmente se consiguió. Cuando en 1934 Enrico Fermi y sus colaboradores bombardearon uranio con neutrones lentos, observaron la formación de varias especies radiactivas artificiales; en los años que siguieron se observaron muchas más, creyéndose en aquel entonces que se trataba de elementos transuránicos; pero la investigación química de esas sustancias condujo al descubrimiento de la fisión nuclear en vez del de los elementos transuránicos. Investigaciones posteriores han demostrado que prácticamente todas las especies radiactivas que se tomaron por elementos transuránicos eran en realidad productos de la fisión del uranio. En 1940, E. M. McMillan y P. H. Abelson descubrieron el primer elemento transuránico, el neptunio, de número atómico 93. En los años que siguieron se sintetizaron e identificaron muchos más elementos transuránicos: el plutonio (94), el americio (95), el curio (96), el berkelio (97), el californio (98), el einsteinio (99), el fermio (100), el mendelevio (101) y el elemento 102. Todos los elementos hasta el einsteinio inclusive tienen isótopos de vida suficientemente larga para poder ser aislados en cantidades macroscópicas ponderables, lo cual parece que deja de ser posible para los elementos posteriores al einsteinio.

En la práctica, todos los elementos transuránicos se obtienen sintéticamente por transmutación de otros elementos obtenidos en último término del uranio. No obstante, en los minerales de uranio se encuentran trazas de dos de ellos, el neptunio y el plutonio, como consecuencia de la acción de los neutrones presentes. La investigación de estos elementos nuevos ha contribuído en gran manera al enriquecimiento de la química inorgánica descriptiva moderna, pues su comportamiento químico es muy variado, forman compuestos poco corrientes y, en algunos casos, muestran una complejidad extraordinaria en solución. En la actualidad, se conocen bien las relaciones de estos elementos entre sí y con los demás elementos, y se están resolviendo los problemas inherentes al trabajo con los mismos, como por ejemplo el manejo de cantidades de substancia tan pequeñas que es imposible pesarlas; la manipulación, manteniendo la seguridad personal, de materiales de propiedades radiactivas peligrosas; y la preparación e identificación de elementos de número atómico cada vez más elevado.

POSICION EN EL SISTEMA PERIODICO

Las ideas acerca de la posición de los elementos más pesados en el sistema periódico (Tabla 1) han cambiado considerablemente en los últimos años. Hasta antes de la última guerra, el torio, protactinio y uranio ocupaban lugares inmediatamente debajo del hafnio, tantalio y volframio, respectivamente, que pertenecen a una familia de transición en que el nivel 5d se está completando. Su colocación se basaba en la suposición de que los tres elementos más pesados eran miembros de una familia en que el nivel 6d se iba llenando. El trabajo de Bohr sobre la cuantización del átomo nuclear, aparecido en 1913, permitía suponer la existencia de una familia de transición con el nivel 5f incompleto, la cual, empezando con el torio, se extendía hasta el elemento 95 inclusive, antes de que se completase el nivel 6d. Con el descubrimiento del neptunio y, más tarde, del plutonio, se rebasaron los límites del sistema periódico y, al aumentar nuestros conocimientos acerca de los elementos transuránicos, se hizo patente que en esta región del sistema periódico existía una nueva familia completa de elementos, de la cual aún quedan algunos por descubrir.

El hecho de que los elementos transuránicos sean miembros de una familia parecida a la de las tierras raras o lantánidos, es muy útil para predecir sus propiedades químicas antes de que sean descubiertos. Esta semejanza, descubierta por nosotros en 1944 fundándonos en las propiedades químicas del neptunio y del plutonio, fue la clave del descubrimiento de los elementos 95 y 96 (americio y curio) y ha sido esencial para el descubrimiento de los elementos transcúricos. Puesto que todos los elementos que siguen al

TABLA I

1 H 1,0080																	2 He 4,003
3 Li 6,940	4 Be 9,013											5 B 10,82	6 C 12,011	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00	10 Ne 20,183
11 Na 22,991	12 Mg 24,32											13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,975	16 S 32,066	17 Cl 35,457	18 A 39,944
19 K 39,100	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,94	28 Ni 58,71	29 Cu 63,54	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,91	34 Se 78,96	35 Br 79,916	36 Kr 83,80
37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tc	44 Ru 101,1	45 Rh 102,91	46 Pd 106,4	47 Ag 107,88	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,70	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 I 126,91	54 Xe 131,30
55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 La Ver familia La	72 Hf 178,50	73 Ta 180,95	74 W 183,86	75 Re 186,22	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,09	79 Au 197,0	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 208,99	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra 226,03	89 Ac Ver familia Ac	(104)	(105)	(106)	(107)	(108)										

Familia de los lantánidos	57 La 138,92	58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm	62 Sm 150,35	63 Eu 152,0	64 Gd 157,26	65 Tb 158,93	66 Dy 162,51	67 Ho 164,94	68 Er 167,27	69 Tm 168,94	70 Yb 173,04	71 Lu 174,99
Familia de los actínidos	89 Ac 227,04	90 Th 232,05	91 Pa 231,05	92 U 238,04	93 Np 237,06	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 E	100 Fm	101 Mv	102	(103)

actinio parecen pertenecer al grupo de los actínidos, (nombre que se escogió por analogía con el grupo de los lantánidos) los elementos torio, protactinio y uranio han sido retirados de las posiciones que ocupaban en el sistema periódico antes de 1939 y colocados en esta familia de transición; como veremos más adelante, es casi seguro que los elementos 104, 105 y 106 habrán de ocupar los lugares que el torio, protactinio y uranio han dejado vacíos. Nos encontramos por consiguiente con el hecho de que los elementos recién descubiertos han alterado la faz del sistema periódico y que este cambio ha tenido lugar muchos años después de establecerse lo que parecía ser una configuración definitiva.

NEPTUNIO

El descubrimiento del primer elemento transuránico, el neptunio, fue el resultado de los estudios de McMillan sobre el proceso de fisión. El método utilizado se basaba en la medida de las energías de los dos fragmentos principales de la fisión del uranio por la acción de neutrones, encontrándose con que había otro producto radiactivo de la reacción que no retrocedía lo suficiente para escapar de la delgada capa de uranio que sufría la fisión, lo cual hizo sospechar que se trataba de un producto formado a partir del uranio por captura de neutrones. Partiendo de sus investigaciones químicas, McMillan y Abelson consiguieron demostrar que este producto era un isótopo del elemento 93 (^{239}Np) formado en la desintegración del ^{239}U con emisión de partículas beta, el cual a su vez se formaba del ^{238}U por captura de un neutrón.

La configuración electrónica y las propiedades químicas del neptunio no eran obvias. Se sabía que el uranio tenía cierta semejanza con el volframio y se pensó que el elemento 93 se parecería al renio, que es el elemento que sigue al volframio; pero existía también la posibilidad de que el neptunio fuese un miembro de una nueva familia de transición de elementos pesados. Los trabajos de McMillan y Abelson demostraron que las propiedades químicas del neptunio lo asemejan al uranio y no al renio. Esta fue la primera prueba definida de que los electrones van llenando el nivel 5f en la familia de los elementos transuránicos.

Los trabajos iniciales sobre el neptunio, como con todos los elementos transuránicos, se llevaron a cabo utilizando trazadores. El método consiste en utilizar un elemento con propiedades químicas semejantes a las del elemento radiactivo que se estudia, presente en cantidades del orden de 10^{-10} g, o inferiores, a fin de seguir el comportamiento del elemento radiactivo. El paso del elemento que se investiga a través de las distintas reacciones se sigue por su radiactividad más que por análisis químico. A pesar de la pequeñez de las cantidades presentes, mediante el uso apropiado y cuidadoso del método de trazadores, se puede llegar a saber mucho acerca de las propiedades químicas de un elemento, por ejemplo: la solubilidad de sus compuestos, sus potenciales de oxidación-reducción, la formación de iones complejos, etc.

PLUTONIO

El plutonio fue el segundo elemento transuránico descubierto. Por bombardeo del uranio con deuterones, E. M. McMillan, J. W. Kennedy, A. C. Wahl y nosotros, a fines de 1940 conseguimos preparar un nuevo isótopo del neptunio, ^{238}Np, que se desintegraba dando ^{238}Pu. La vida media de este isótopo resultó ser suficientemente larga para que pudiéramos detectarlo y obtener por el método de trazadores una cantidad considerable de información sobre su comportamiento químico. Con la ayuda de esos datos, J. W. Kennedy, E. Segrè, A. C. Wahl y nosotros identificamos el isótopo más importante del plutonio, ^{239}Pu, como el producto de la desintegración del ^{239}Np y así pudimos demostrar que el ^{239}Pu sufre un proceso de fisión por la acción de neutrones lentos.

Al comprenderse que el isótopo ^{239}Pu del plutonio podía ser la base de un arma atómica y que se podía obtener en grandes cantidades en un reactor nuclear en cadena, se hizo imperativo el estudio químico del plutonio, aun en cantidades del orden del microgramo. En agosto de 1942, B. B. Cunningham y L. B. Werner consiguieron aislar aproximadamente un microgramo de ^{239}Pu preparado por irradiación en un ciclotrón. El plutonio fue el primer elemento fabricado por el hombre que se obtuvo en cantidad visible.

Las investigaciones iniciadas por P. L. Kirk y A. A. Benedetti-Pichler proporcionaron la base técnica necesaria para la manipulación de sustancias en estos trabajos de ultramicroquímica. Trabajando con volúmenes suficientemente pequeños, incluso unos microgramos de producto pueden dar soluciones de concentración relativamente elevada y, con el desarrollo de balanzas con la sensibilidad necesaria, las cantidades del orden del microgramo son también suficientes para llevar a cabo determinaciones gravimétricas cuantitativas. Se midieron volúmenes de líquido del orden de 10^{-1} a 10^{-5} ml, con error inferior al

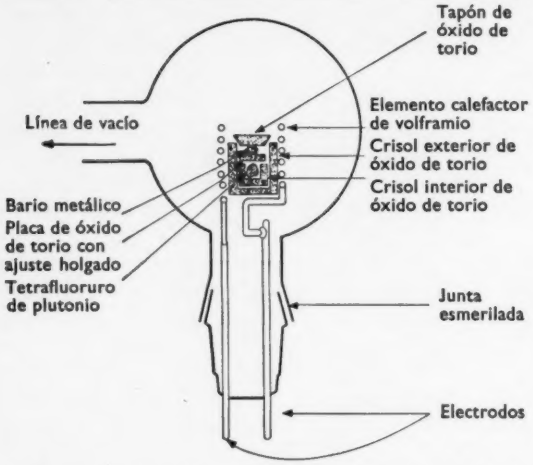


FIGURA 1 – *Aparato utilizado en la primera preparación de plutonio métalico (noviembre de 1943). 35 µg de tetrafluoruro de plutonio se hicieron reaccionar con vapor de bario a 1400° C en un crisol de óxido de torio. El plutonio metálico se obtuvo en forma de glóbulos de color blanco metálico que pesaban unos 3 µg cada uno.*

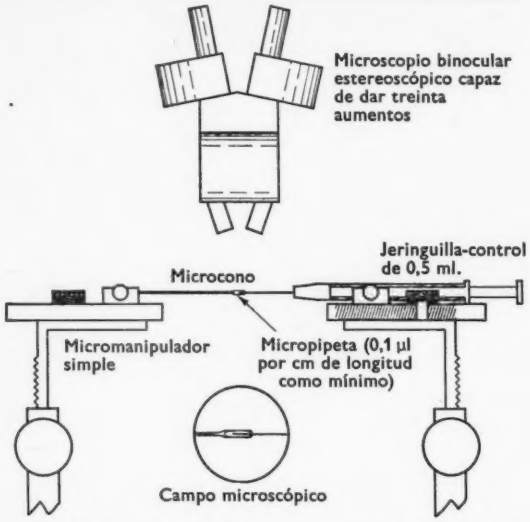


FIGURA 2 – *Dispositivo experimental para el estudio de reacciones de precipitación con masas del orden de un microgramo.*

1%, en tubos capilares calibrados de precisión en los que el movimiento del líquido se controlaba variando la presión del aire. Se construyeron pipetas aun más pequeñas, que se llenaban automáticamente por atracción capilar. Los tubos de ensayo y los vasos de precipitados se hicieron de tubos capilares con diámetros de 0,1 a 1 mm y se manejaban con micromanipuladores. Los pesos de los reactivos y precipitados empleados en el trabajo ultramicroquímico varían entre 0,1 y 100 µg. Al operar a escala tan reducida, es necesario introducir modificaciones en los métodos; así, por ejemplo, la separación de sólidos y líquidos se hace por centrifugación en lugar de por filtración. Las manipulaciones propiamente químicas se hacen sobre la platina de un microscopio, de manera que se pueda observar todo el aparato (Fig. 2). Entre los primeros éxitos de la ultramicroquímica se cuentan el aislamiento de compuestos puros de neptunio (Fig. 3) y de plutonio (Fig. 4) y la preparación de plutonio metálico. Las Figs. 1 y 5 son dibujos esquemáticos de los aparatos utilizados para la preparación de plutonio métalico y de tricloruro de plutonio puros.

El plutonio es el único elemento sintético producido y aislado en cantidades mensurables en kilogramos. La gran planta de Hanford, Washington, se construyó a base de las investigaciones llevadas a cabo con unos dos mg de plutonio; la escala entre los experimentos ultramicroquímicos y la planta de Hanford es del orden de 10^9, que es seguramente un factor sin igual.

Normalmente, la investigación química del plutonio y de los demás elementos transuránicos se lleva a cabo con cantidades de sustancia inferiores al miligramo, más por conveniencia que por escasez del material a estudiar, pues el ^{239}Pu es extraordinariamente tóxico debido a su intensa radiactividad alfa, que se eleva a 140 000 000 de partículas α por minuto por miligramo. Cuando se trabaja con plutonio, además de limitarse a pequeñas cantidades, se necesitan equipo y precauciones especiales.

AMERICIO Y CURIO

Los descubrimientos del americio (1944–45) y del curio (1944) son posteriores a la obtención en cantidad del plutonio y se vieron facilitados por la precisa predicción de sus propiedades a partir de su supuesta posición en el sistema periódico (pág. 6). El curio, descubierto por R. A. James, L. O. Morgan, A. Ghiorso y nosotros, fue sintetizado como ^{242}Cm por bombardeo del plutonio con iones helio. La producción de americio por James, Ghiorso y nosotros se consiguió preparando ^{241}Pu, que se desintegra en ^{241}Am con emisión de partículas beta.

IDENTIFICACION POR INTERCAMBIO IONICO

El intercambio iónico, junto con la comparación elemento por elemento del comportamiento

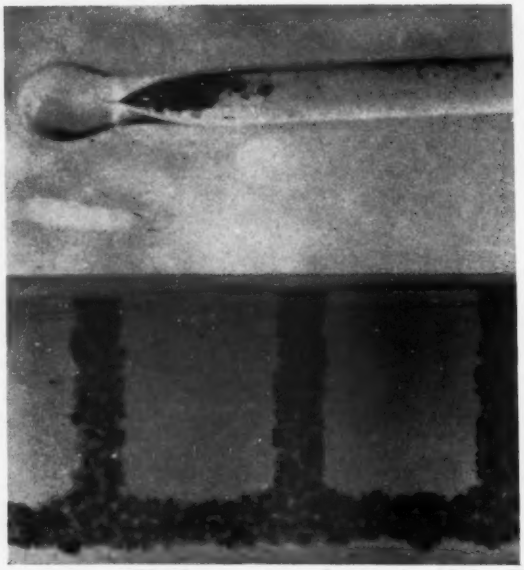


FIGURA 3 – *El primer compuesto de neptunio aislado. El compuesto, óxido de neptunio, aparece en el fondo del tubo capilar. La muestra se aisló en 1944 y pesaba unos 10 μg. Debajo de la muestra y para comparación puede verse una escala en milímetros.*

FIGURA 4 – *El primer compuesto de plutonio que se consiguió pesar (10 de septiembre de 1942). El compuesto, óxido de plutonio, aparece señalado con una flecha formando una costra cerca del extremo de la naveta de platino en que fue pesado y que es sostenida con unas pinzas. La muestra de óxido de plutonio pesó 2,77 μg. (×20)*

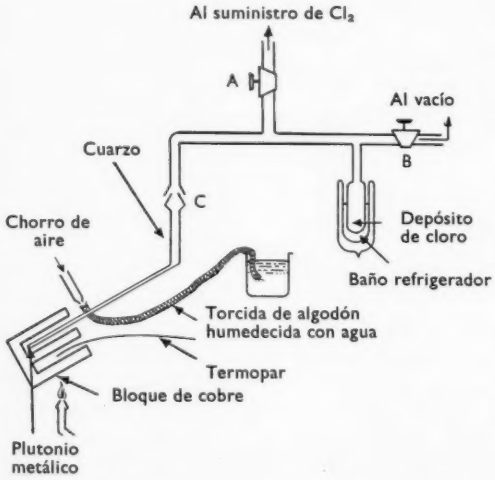


FIGURA 5 – *Aparato utilizado en la primera preparación de $PuCl_3$ (febrero de 1944). El compuesto fue preparado tratando 50 μg de plutonio metálico con cloro gaseoso. Después de colocar el plutonio en el tubo capilar, se practicó el vacío en el aparato y se introdujo cloro, una pequeña parte del cual se condensó en el depósito. Después de cerrar el aparato conteniendo cloro a una presión de unos 60 mm Hg, se calentó el bloque de cobre a 45° C y el producto de la reacción se condensó en la parte alta del capilar. Esta parte se cerró a la lámpara y el compuesto formado fue identificado por difracción con rayos X.*

de los correspondientes actínidos y lantánidos, ha sido fundamental en el descubrimiento de los elementos transuránicos. Puesto que los actínidos situados más allá del plutonio son predominantemente trivalentes en solución y tienen parecido comportamiento químico, los métodos corrientes de separación química no les son aplicables. Además, los primeros isótopos de los elementos actínidos se obtuvieron en cantidades muy pequeñas y tienen vida muy corta. Por tanto, se necesitan métodos rápidos y específicos para identificarlos, y el intercambio iónico proporcionó la rapidez y selectividad necesarias. La mayor parte de nuestros conocimientos acerca de los actínidos más pesados que el curio se refieren a sus propiedades elutivas y de intercambio iónico.

Los iones actínidos y lantánidos trivalentes sufren un simple intercambio iónico cuando sus soluciones se agitan con un polímero orgánico sólido con cationes intercambiables. A continuación, el sólido se coloca en la parte superior de un tubo lleno con el polímero puro y se eluye el lantánido o actínido haciendo pasar a través de la columna una solución con una sustancia capaz de formar complejos con los iones del actínido o lantánido. Con sistemas apropiados, los lantánidos se eluyen en orden inverso a sus números atómicos,

es decir, el lutecio se recoge en la primera fracción que atraviesa la columna, el yterbio en la segunda, y así sucesivamente hasta el cerio. Este método se parece extraordinariamente a la cromatografía. En el caso de los actínidos, el elemento 103, que aún está por descubrir, será el primero en atravesar la columna, seguido por el 102, y así sucesivamente.

BERKELIO Y CALIFORNIO

A fines de 1949 y principios de 1950 se consiguió preparar los elementos 97 y 98, berkelio y californio. Los primeros seis elementos transuránicos se descubrieron en pares, siendo el tiempo transcurrido entre cada par el necesario para refinar los métodos y acumular suficiente material de partida. Se prepararon por irradiación intensa del plutonio con neutrones durante largo tiempo unos cuantos miligramos de americio para ser utilizado como blanco; los elementos pesados se forman por captura sucesiva de neutrones. El blanco de curio se preparó en cantidades del orden del microgramo por irradiación del americio con neutrones. Ambos bombardeos se llevaron a cabo en reactores de flujo elevado. El berkelio, en forma de isótopo ^{243}Bk, fue descubierto por S. G. Thompson, A. Ghiorso y nosotros en diciembre de 1949 como resultado del bombardeo del americio con iones helio. El californio fue sintetizado e identificado por S. G. Thompson, K. Street Jr., A. Ghiorso y nosotros en febrero de 1950, al obtener el isótopo ^{245}Cf por bombardeo de unos microgramos de curio con iones helio. La identificación del californio se consiguió con unos 5000 átomos.

EINSTEINIO Y FERMIO

La primera prueba con explosivos termonucleares, que tuvo lugar en el Pacífico en noviembre de 1952, condujo al descubrimiento de los elementos 99 y 100, einsteinio y fermio. Estos elementos fueron encontrados en los residuos, recogidos primero sobre papeles de filtro colocados en aviones que volaron a través de la zona donde ocurrió la explosión y más tarde en mayores cantidades en el material recogido en la superficie de un atolón cercano. El uranio del dispositivo de fisión-fusión estuvo sometido por un instante a un intenso flujo de neutrones que dió origen a isótopos ultrapesados del uranio. Estos isótopos se desintegraron rápidamente formando isótopos pesados de los elementos plutonio, americio, curio, berkelio, californio, 99 y 100. Los productos de esta reacción fueron investigados por equipos del Laboratorio de Radiación de la Universidad de California, del Laboratorio Nacional de Argonne y del Laboratorio Científico de Los Alamos. Los dos nuevos elementos fueron descubiertos por Ghiorso y sus colaboradores en estos tres laboratorios.

El einsteinio y el fermio han sido sintetizados por varios métodos, el más importante de los cuales es la irradiación durante varios años con un flujo extraordinariamente intenso de neutrones en un reactor como el Reactor para Ensayo de Materiales en Arco, Idaho. El einsteinio utilizado para la producción del elemento 101 fue preparado en el Reactor para Ensayo de Materiales.

MENDELEVIO

La síntesis del elemento 101 se planeó y llevo a cabo no sólo a partir de una cantidad tan pequeña de einsteinio ^{253}E que no se podía pesar, sino que se suponía que no se iban a obtener más que uno o dos átomos del elemento 101 en cada experimento. Sólo se disponía de unos mil millones de átomos de ^{253}E para el blanco. Además, era necesario separar el único átomo obtenido de los 10^9 átomos de einsteinio y conseguir su identificación por intercambio iónico, confirmando que aparecía en la posición del eka-tulio. Para esto se necesitaban nuevas técnicas y mucha suerte, que por fortuna no faltaron. La nueva técnica consistía en la separación del elemento 101 del einsteinio por el método de retroceso; el einsteinio se depositó sobre una lámina de oro formando una capa tan delgada que era invisible, y el haz de iones helio fue dirigido sobre el reverso de la lámina de oro, de forma que los átomos del elemento 101 que salían despedidos por efecto del choque con los iones helio se podían recoger sobre una segunda lámina de oro. Esta segunda lámina, que contenía los átomos del nuevo elemento y estaba relativamente libre de einsteinio procedente del blanco, fue disuelta y con la solución se llevaron a cabo las separaciones químicas adecuadas. Los métodos de que se disponía para la detección de elementos que se desintegraban con emisión de partículas alfa o por fisión eran tan sensibles, que fue posible poner de manifiesto la presencia del átomo o par de átomos que se formaban en cada experimento.

Los primeros experimentos se limitaron a observar la presencia de isótopos de vida corta emisores de partículas alfa que pudieran estar relacionados con el elemento 101. Sin embargo, no se consiguió ningún resultado positivo incluso después de reducir a cinco minutos el tiempo

entre el fin del bombardeo y el principio del análisis de las partículas alfa.

Se continuaron los experimentos y durante uno de los bombardeos se observó un intenso pulso aislado debido a fisión espontánea. Los experimentos químicos indicaban que la fisión espontánea ocurría en las fracciones correspondientes a los elementos 100 o 101. En el curso de los experimentos definitivos se llevaron a cabo tres bombardeos sucesivos de tres horas de duración cada uno, y los productos de las transmutaciones fueron separados rápida y completamente por intercambio iónico, observándose cinco fisiones espontáneas en la posición de elución del elemento 101 y ocho en la del elemento 100, sin que se observaran fisiones en ninguna otra posición. La actividad de la fisión espontánea de las fracciones 101 y 100 disminuía con un período de semidesintegración de unas tres horas. Esta y otras consideraciones condujeron a la conclusión de que el isótopo tiene un número másico 256 y se transforma por captura de un electrón, con un período de semidesintegración del orden de una hora, en el isótopo ^{256}Fm que es el causante de la fisión espontánea.

Tomando estos hechos como base, un grupo constituído por A. Ghiorso, B. G. Harvey, G. R. Choppin, S. G. Thompson y nosotros anunciamos el descubrimiento del elemento 101, dándole el nombre de mendelevio en memoria del químico ruso Dmitri Mendeleev, que fue el primero en utilizar el sistema periódico para predecir las propiedades químicas de los elementos antes de su descubrimiento. Experimentos posteriores utilizando cantidades mayores de einsteinio como blanco, permitieron la obtención de más de un centenar de atómos de mendelevio. Todas las indicaciones son de que, tal como se esperaba, el mendelevio es un actínido trivalente positivo típico y corresponde realmente al ekatulio.

ELEMENTO 102

El descubrimiento del elemento 102 se anunció en 1957 como resultado de los trabajos llevados a cabo en el Instituto Nobel de Física, de Estocolmo, por un equipo de investigadores del Laboratorio Nacional de Argonne, del Establecimiento para la Investigación de la Energía Atómica de Harwell y del Instituto Nobel. Según estos investigadores, el elemento se obtiene por bombardeo de ^{244}Cm con iones $^{13(+4)}$C producidos en un ciclotrón y se desintegra por emisión de partículas alfa de 8,5 MeV, con un período de semidesintegración de unos diez minutos; el grupo propuso el nombre de nobelio para el nuevo elemento. No obstante, los experimentos llevados a cabo en el Laboratorio de Radiación de la Universidad de California no han confirmado el descubrimiento. En abril de 1958, un grupo del Laboratorio de Radiación, formado por Ghiorso, T. Sikkeland, J. R. Walton y nosotros, identificó el isótopo ^{254}102 como producto del bombardeo del ^{246}Cm con iones ^{12}C acelerados en el nuevo acelerador lineal para iones pesados del Laboratorio. Este isótopo del elemento 102 se desintegra con emisión de partículas alfa y un período de semidesintegración de unos tres segundos. Fue detectado mediante identificación química del producto de su desintegración ^{250}Fm, que fue separado del producto original aprovechando el retroceso producido por la emisión de partículas alfa en la desintegración del elemento 102.

COMPARACION DE ACTINIDOS Y LANTANIDOS

La semejanza entre los elementos actínidos y lantánidos hace suponer que sus estructuras electrónicas han de ser parecidas. En los lantánidos, los catorce electrones 4f se van añadiendo uno a uno, empezando con el cerio (número atómico 58) y terminando con el lutecio (número atómico 71). En los actínidos se añaden los catorce electrones 5f, empezando teóricamente con el torio y terminando con el elemento 103. Las pruebas, que son demasiado largas y complejas para poderlas describir en este artículo, se basan en sus propiedades químicas, en los espectros de absorción y de fluorescencia de las soluciones acuosas y de los cristales y en datos cristalográficos, magnéticos y espectroscópicos. El lantánido gadolinio, con siete electrones 4f y el actínido curio, con siete electrones 5f, tienen especial interés debido a la estabilidad de la configuración obtenida al quedar completos la mitad de los lugares del nivel f. Se ha visto que los dos elementos tienen propiedades extraordinariamente parecidas. Las relaciones dentro de la familia de los actínidos implican que el estudio de cualquiera de ellos suministra información indirecta sobre las propiedades químicas de los demás, de forma que, de ciertas anomalías en el orden de elución de los elementos transplutónicos ha sido posible deducir ciertas relaciones entre las propiedades químicas del plutonio y su estructura electrónica.

No obstante, existen diferencias importantes entre los lantánidos y los actínidos, debidas principalmente a que las energías de enlace y el

efecto de pantalla de los electrones exteriores sobre los electrones 5f son menores que para los electrones 4f. Parece que no existe ningún electrón 5f en el torio y que el uranio posee tres; los elementos siguientes parecen adicionar electrones 5f en una forma regular, pasando por el curio, con su nivel semicompleto, hasta llegar al elemento 103, todavía por descubrir, que probablemente tendrá catorce electrones 5f. Especialmente en los primeros miembros de la familia de los actínidos, la menor energía de enlace de los electrones 5f, comparados con los 4f, hace que los estados superiores de oxidación sean más fáciles de alcanzar. Para los actínidos más ligeros, el problema de asignar los electrones a la órbita 5f o 6d es difícil, pues la diferencia de energía entre dichos niveles es del orden de las energías de combinación química; esto implica que, en general, no es posible establecer la estructura electrónica del átomo en compuestos, o la del ión en solución acuosa, a partir de la configuración del átomo en estado gaseoso. En el caso de los lantánidos, el átomo gaseoso contiene en general sólo dos electrones fuera del nivel 4f (exteriores a la estructura del xenón), a pesar de que el estado predominante de oxidación en solución acuosa es el trivalente. Debe notarse también, que para un elemento dado de la familia de los actínidos, hay una estabilización de los electrones 5f comparado con los 6d al aumentar el grado de oxidación.

Sin embargo, la diferencia entre la serie de los actínidos y de los lantánidos es suficiente para permitir el estudio de nuevos e importantes fenómenos químicos. Por ejemplo, la posición energética de los orbitales 5f y su mayor extensión especial permiten la formación de enlaces híbridos con formación de iones complejos muy importantes.

POSIBILIDADES PARA EL FUTURO

La posibilidad de descubrir nuevos elementos transuránicos parece fuera de duda. El estudio de los isótopos conocidos de los elementos transuránicos ha permitido la predicción de las propiedades radiactivas de isótopos nuevos antes de ser descubiertos. Se ha visto que respecto a la desintegración con emisión alfa y a la fisión espontánea, las regularidades son mayores para los núcleos que contienen un número par de protones y de neutrones, de forma que la predicción de las propiedades de isótopos desconocidos de este tipo es más segura. La velocidad de desintegración por emisión de partículas alfa y por fisión espontánea de los isótopos en que el número de protones, de neutrones o de ambos es impar, es más lenta que la de los isótopos regulares con un número par de protones y neutrones. Por desgracia, la obtención de isótopos cada vez más pesados es problemática, pues las reglas predicen la disminución del semiperíodo al aumentar el número atómico. Si se llegan a obtener los elementos 104 y 105, nos encontraremos probablemente con que los isótopos de vida más larga existirán durante períodos de tiempo apenas suficientes para su identificación química; para el elemento 104 se han previsto períodos de semidesintegración del orden de minutos o segundos, y para el 105, sólo de segundos. Puede ocurrir, sin embargo, que esos isótopos, por alguna razón especial, presenten un tipo de desintegración retardada que conduzca a semiperíodos superiores a los predichos. Es posible también que tengamos que modificar el criterio actual para definir qué sea un nuevo elemento, es decir, su identificación química y su separación de todos los demás elementos previamente conocidos. La cuidadosa medida de las propiedades radiactivas, el estudio de rendimientos y mecanismos de transmutación y el uso adecuado del método de retroceso permitirán la identificación efectiva de otra media docena de elementos, y es posible que la identificación de los primeros isótopos de todos los elementos que se descubran en el futuro se consiga unicamente con estos métodos y que más tarde se obtengan isótopos de semiperíodo suficientemente largo para llevar a cabo su identificación química.

De momento se han hecho algunas predicciones sobre los núcleos superpesados. J. A. Wheeler ha demostrado que los electrones extranucleares de átomos con número atómico muy superior a 137 (considerado con frecuencia como el límite superior) se comportarían en forma normal debido a la extensión finita del núcleo. Por consiguiente, no parece que exista ninguna limitación a la existencia de tales elementos pesados a causa de su estructura electrónica. La producción de tales núcleos requeriría flujos neutrónicos extremadamente intensos, del orden de 10^{31} neutrones por segundo por centímetro cuadrado, como los que pueden encontrarse en las estrellas, y es difícil imaginar cómo se puedan obtener esos núcleos en la Tierra, ni cómo se podría detectar su existencia, ya que la velocidad de desintegración aumenta rápidamente al aumentar el número atómico. A menos que existan «islas» inesperadas de estabilidad debido a la formación de capas cerradas de neutrones o protones, las predicciones basadas en la regularidad de las propiedades radiactivas hacen suponer la imposibilidad de producir y

detectar más de otra media docena de elementos.

La predicción de las propiedades químicas de los elementos que siguen al mendelevio parece muy sencilla. El elemento 103 debe completar la familia de los actínidos, y se espera que los elementos 104, 105, 106, etc., ocupen lugares debajo del hafnio, tantalio, volframio, etc. Al completarse el nivel 6d, los electrones deben situarse en el nivel 7p, llegándose a la estructura de gas noble con el hipotético elemento 118. Es casi seguro que la identificación química de los elementos 102 y 103 se llevará a cabo por intercambio iónico, utilizándose las propiedades de sus homólogos, el yterbio y el lutecio y las de los demás actínidos. Se espera que el elemento 102 se presente en forma trivalente estable y en otra divalente menos estable que, sin embargo, puede ser importante para la identificación del elemento. La forma divalente del elemento 102, si tiene estabilidad comparable a la de la forma divalente del yterbio, puede permitir la separación rápida del elemento 102 de los demás actínidos por reducción electrolítica o con amalgama, utilizando el yterbio como portador. La estabilidad de la forma divalente puede reflejarse en las propiedades del elemento en estado metálico, resultando en una densidad anormalmente baja y una volatilidad relativamente elevada. Debe esperarse que el elemento 103 se presente sólo como trivalente. El elemento 104 debe ser exclusivamente tetravalente en solución y parecerse a su homólogo el hafnio. El elemento 105 debe parecerse al niobio y al tantalio y, en cierta manera, al protactinio, siendo la forma pentavalente la más importante. Las propiedades químicas del elemento 106 pueden predecirse de las del volframio, molibdeno y, hasta cierto punto, del cromo, pudiéndose esperar que se presente en los estados de oxidación III, IV, V y VI. Los elementos 107, 108, 109, 110, etc., debe esperarse que posean cierta semejanza con el renio, osmio, iridio y platino, respectivamente.

La posibilidad de preparar elementos transférmicos por captura múltiple de neutrones como resultado de un intenso bombardeo neutrónico durante largo tiempo, puede descartarse debido a que algunos de los isótopos intermedios tienen semiperíodos tan cortos que su presencia en las cantidades necesarias es imposible. Afortunadamente, existe otro tipo de reacción nuclear que permite obtener elementos de número atómico superior a todos los conocidos: el bombardeo con iones pesados. En muchos laboratorios se han observado ya reacciones de este tipo y se han obtenido isótopos del californio, einsteinio y fermio por bombardeo del uranio con iones carbono, nitrógeno y oxígeno, respectivamente. En la Universidad de California, Berkeley, se ha construído un acelerador capaz de producir haces intensos de todos los iones pesados hasta el neón, y quizá haces utilizables de iones tan pesados como el argón. Pero aun con el uso de iones pesados, la fuente de los materiales utilizados como blanco va a originar dificultades serias, ya que para preparar cantidades de berkelio, californio y einsteinio del orden de miligramos en un tiempo razonable, se necesitan nuevos reactores muy caros, capaces de producir 10^{15} a 10^{16} neutrones por centímetro cuadrado por segundo.

BIBLIOGRAFIA

KATZ, J. J. y SEABORG, G. T. *The Chemistry of the Actinide Elements.* Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., Nueva York. 1957.

SEABORG, G. T. *The Transuranium Elements.* Yale University Press, New Haven. 1958.

SEABORG, G. T. y KATZ, J. J. (Compiladores). *The Actinide Elements,* National Nuclear Energy Series, Div. IV, Vol. 14A. McGraw-Hill Book Co. Inc., Nueva York. 1954.

SEABORG, G. T., KATZ, J. J. y MANNING, W. M. (Compiladores). *The Transuranium Elements:* Research Papers, National Nuclear Energy Series, Div. IV, Vol. 14B. McGraw-Hill Book Co. Inc., Nueva York. 1949.

Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955, Vols. I–XVI. United Nations, Nueva York. 1956.

REMY, H. *Treatise on Inorganic Chemistry,* Vol. II. Elsevier Publishing Co., Londres. 1956.

HAÏSSINSKY, M. *La chimie nucléaire et ses applications.* Masson et Cie, París. 1957.

BRUNI, G. *Chimica Generale e Inorganica* (10ª edición). G. R. Levi y M. A. Rollier (Compiladores). Cesare Tamburini, Milán. 1957.

HYDE, E. K. y SEABORG, G. T. *The Transuranium Elements.* Handbuch der Physik, Vol. XLII, pág. 205. Springer-Verlag, Berlín. 1957.

PERLMAN, I. y RASMUSSEN, J. O. *Alpha Radioactivity.* Handbuch der Physik, Vol. XLII, pág. 109. Springer-Verlag, Berlín. 1957.

LISTER, M. W. *Chemistry of the Transuranic Elements,* Vol. IV, pág. 20. Chemical Society, Londres. 1950.

NAST, R. y VON KRAKKAY, T. *Fortschr. Chem. Forsch.,* **2**, 484, 1952.

MELANDER, L. *Svensk kem. Tidskr.,* **63**, 311, 1951.

GOL'DANSKII, V. I. Новые Химические Элементы (Los nuevos elementos químicos). Ser. III, No. 2. Издательство «Знание», Moscú. 1955.

SEABORG, G. T. *The Eight New Synthetic Elements. Kagaku,* **19**, 211, 1949.

Doppler y el efecto Doppler

E. N. DA C. ANDRADE

El efecto Doppler, el único testimonio a la memoria del físico del siglo XIX, tiene hoy día gran importancia. Este artículo describe sus orígenes, la errónea interpretación que el mismo Doppler le dió y sus aplicaciones modernas.

Doppler es un nombre conocido hoy sólo en relación con el efecto Doppler. En el caso de otros científicos, especialmente Hooke y Boyle, las leyes que llevan su nombre representan sólo una parte muy pequeña de su trabajo: Doppler, sin embargo, aunque trabajador diligente, no aportó a la Ciencia nada más que se recuerde o merezca ser recordado, si se exceptúa quizá un primer trabajo sobre el efecto estroboscópico. Hoy el efecto, o principio de Doppler, tiene aplicaciones muy extensas e importantes que se mencionarán más adelante. Aunque Doppler publicó su trabajo en 1843,[1] sólo muy lentamente se llegó a comprender plenamente su valor.

Christian Doppler, hijo de un maestro cantero, nació en Salzburgo el 29 de Noviembre de 1805. Tenía, al parecer, cierta habilidad como tallador de piedra, pero no era suficientemente robusto para seguir el oficio de su padre. El matemático Stampfer comprendió la inteligencia del muchacho y consiguió que fuera enviado a estudiar al Instituto Politécnico de Viena. Más tarde ocupó un humilde puesto en la enseñanza, pero no pudiendo conseguir un cargo de importancia estaba en 1835 a punto de emigrar a América cuando fue nombrado catedrático de matemáticas en la *Realschule* de Praga. Luego pasó al Colegio Técnico de Praga, a la cátedra de matemáticas elementales y geometría práctica. Fue entonces cuando publicó su famoso principio. A continuación fue catedrático de matemáticas, física y mecánica en la Academia de Minas de Schemnitz. A partir de entonces empezó a reconocerse su talento, siendo nombrado *Doctor Honoris Causa* en la Universidad de Praga. Un poco más tarde regresó a Viena y en 1850 fue nombrado catedrático de física experimental en la Universidad, la meta de sus ambiciones. Su Instituto fue el primero fundado en Austria para el estudio de la física. No gozó mucho tiempo de su cargo, pues falleció de una enfermedad del pulmón en 1853. Tuvo, pues, una carrera muy variada como profesor y sólo al final de su vida obtuvo un cargo de distinción académica.

Fue, al parecer, hombre de carácter recto y afable. En el centenario de su nacimiento, cuando se había reconocido ya la importancia del principio que lleva su nombre, se le confirieron póstumamente diversos honores en Salzburgo, Praga y Viena; en las dos últimas ciudades hay calles que llevan su nombre. En 1901 se colocó un busto suyo en la Universidad de Viena; no sabemos en qué retrato se pueda basar dicha imagen.

El trabajo en que Doppler estableció el principio que le ha hecho famoso apareció en 1843, en las *Abhandlungen der Königlichen Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften* (Actas de la Real Academia Bohemia de Ciencias) bajo el título *Ueber das farbige Licht der Doppelsterne* (Sobre la luz coloreada de las estrellas dobles) [1]. El subtítulo explica que es un intento de una teoría que incluye el teorema de Bradley sobre la aberración. El objeto principal es, pues, tratar la forma en que la velocidad de una fuente móvil de luz debe afectar la frecuencia percibida por un observador. En realidad Doppler declara explícitamente hacia el final de su trabajo que su propósito era demostrar, no la posibilidad, sino la necesidad de que las enormes velocidades de los cuerpos celestes influyan sobre el color e intensidad de su luz, tal como la observamos nosotros.

Doppler empieza hablando de los triunfos de la teoría ondulatoria de la luz, haciendo así referencia al hecho, sorprendente para nosotros, que en aquella época (1842) aún había físicos que no estaban convencidos de su validez. El color depende de la frecuencia de las pulsaciones que estimulan el ojo y cualquier causa que cambie el intervalo entre impulsos sucesivos cambia también el color percibido. Mientras la fuente luminosa y el observador están en reposo la frecuencia observada es la frecuencia de la luz emitida por la fuente, pero si el observador se mueve hacia la fuente, la frecuencia debe aumentar; si el observador se aleja, debe disminuir. Si la fuente se

[1] Casi invariablemente citado como 1842. El trabajo fue leído el 25 de Mayo de 1842, pero no fue publicado hasta 1843.

mueve deben producirse efectos semejantes. Dice luego que, a primera vista esto puede parecer una distinción superflua, pero «el digno lector decidirá por sí mismo». Cuando la velocidad de la fuente o del observador es apreciable comparada con la de las ondas en el medio, su efecto es importante. Supone que las ondas (las ondas luminosas en particular) se transmiten en un medio en el que la fuente y el observador se mueven libremente, por lo que cita con cierta frecuencia la aberración de Bradley. Utiliza, por ejemplo, como analogía un barco que se acerca o se aleja de un grupo de olas.

Considera a continuación la teoría matemática simple del fenómeno y deduce, de una forma poco elegante, el equivalente de $n' = n(c-u)/(c-v)$ donde n es la frecuencia de la fuente, n' la frecuencia apreciada por el observador, y c, u y v la velocidad de la onda en el medio en reposo y las velocidades del observador y fuente en este medio respectivamente; las velocidades se consideran positivas en la dirección en que se mueve la onda.

FIGURA 1 – *Busto de Christian Doppler.*

Se puede derivar esta fórmula simplemente considerando que la longitud de onda λ en el medio debe ser $(c-v)/n$, puesto que el número de ondas en una longitud c del medio en reposo están comprendidas en una longitud $c-v$ cuando la fuente se mueve en la dirección de la onda. El número n' de ondas que llegan al observador cada segundo es $(c-u)/\lambda$ puesto que u/λ representa el número que no le llegan debido a su movimiento. Por tanto $n' = (c-u)/\lambda = n(c-u)/(c-v)$. Si u y v son pequeñas respecto a c, la magnitud del efecto depende sólo de la velocidad relativa entre la fuente y el observador y no de la relativa al medio, pues si x es pequeño, $1-x = 1/(1+x)$, aproximadamente. Si, sin embargo, u o v, o ambos, son grandes comparados con c, la diferencia es considerable, como puede verse en el caso en que u o $v = c$. Si la fuente se mueve en la dirección de la onda, $n' = \infty$, si se mueve en la dirección opuesta $n' = n/2$; si el observador se mueve en la dirección de la onda $n' = 0$; en la dirección opuesta $n' = 2n$.

Volviendo al artículo de Doppler, después de establecer la fórmula considera el sonido como un ejemplo y muestra que en una nota para elevar el tono de *do* a *re*, el observador debe moverse hacia la fuente con una velocidad de unos 40 m/sec. Una velocidad de 2,40 m/sec es suficiente para producir un efecto perceptible; pero, como dice Doppler, «Pasaré al objeto real de mi trabajo y aplicaré estas consideraciones a la luz».

Todo el espectro continuo se desplazará hacia el azul si la fuente se acerca a nosotros y hacia el rojo si se aleja; para hacer que un cuerpo convierta la luz blanca o violeta en invisible debe alejarse con una velocidad $19/42 = 0{,}45$ de la de la luz. Esta conclusión falsa está basada en el error que reina en todo el trabajo de Doppler acerca de los cambios de color en las estrellas móviles. Desconociendo, al parecer, los efectos ya descubiertos más allá del rojo y del violeta por F. W. Herschel y J. W. Ritter, creía que el espectro era una banda de frecuencias que terminaba en el rojo y en el violeta, de tal forma que el alejamiento de la fuente a la velocidad adecuada desplazaría, por ejemplo, el violeta hacia el azul, donde termina el espectro observable. Si la velocidad fuese suficiente para desplazar el violeta un poco más allá del rojo el observador no percibiría luz alguna. Para obtener la velocidad mencionada tomó para la frecuencia del extremo rojo y la del extremo violeta cifras no muy diferentes de las de Thomas Young [2].

Basándose en la hipótesis de un espectro limitado y considerando el brillo relativo de las partes diversas del espectro continuo, Doppler dedujo que con una fuente de luz blanca, como él consideraba a las estrellas, una velocidad de 33 millas austríacas (243 km) por segundo, acercándose o alejándose del observador produciría un cambio de color perceptible por el ojo. Una velocidad de 1380 km/sec produciría un cambio notable de color. Estrellas con velocidades radiales entre 243 y 134 000 km/sec mostrarían cambios de color, más pronunciados cuanto más grande la velocidad: a velocidades aún más altas se harían invisibles.

Doppler da a continuación nueve razones,

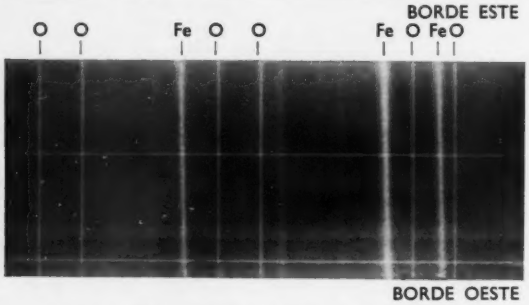


FIGURA 2 – *Efecto Doppler debido a la rotación del Sol. Las líneas de absorción agudas (O) son debidas al oxígeno de la atmósfera terrestre y no muestran el efecto. Las líneas (Fe) del hierro en la fotosfera solar están desplazadas hacia el violeta en el borde este del Sol, que se acerca a nosotros, y hacia el rojo en el borde oeste, y están por tanto desviadas respecto a las líneas del oxígeno. (Por cortesía de H. H. Plaskett.)*

basadas en observaciones astronómicas, como ejemplos del efecto de las velocidades estelares sobre el color, como es el caso de las estrellas dobles y variables. Dice, por ejemplo, que en las estrellas dobles en que una componente es mucho más grande que la otra, la estrella mayor es casi siempre blanca y la otra coloreada, cuando las dos componentes son iguales, ambas son coloreadas: una hacia la parte del espectro de onda corta y la otra de onda larga. Dice también que en los 50 años de intervalo entre las observaciones de Herschel el Viejo y Struve, las estrellas γ *Leonis* y γ *Delphini* habían cambiado. Todos estos fenómenos, e incluso la aparición de estrellas nuevas y desaparición de viejas, los atribuye a efectos de velocidad. Su razonamiento general y su enunciación del principio fueron exactos, lo mismo que su aplicación al caso del sonido, que propuso como una ilustración; pero los fenómenos particulares de coloración estelar, a cuya explicación dirigió todo su esfuerzo, no tienen nada que ver con el efecto Doppler.

Tyndall en su famoso libro *Sound*, publicado por vez primera en 1867, después de describir la aplicación del efecto Doppler al sonido, dice: «ésta es la base de la teoría de Doppler de las estrellas coloreadas. Supone que todas las estrellas son blancas, pero algunas de ellas se alejan rápidamente de nosotros, por tanto sus ondas luminosas se alargan y se tornan rojas; otras se acercan con rapidez, sus ondas se acortan y se hacen verdes o azules. Esta teoría es muy ingeniosa, pero su exactitud es más que dudosa.»

La validez del principio general no fue aceptada universalmente por los científicos; su antagonista principal fue Petzval, conocido por sus trabajos sobre lentes, cuya oposición, basada en una incomprensión del problema, empezó en 1852 y continuó durante varios años. El efecto fue comprobado pronto en el caso del sonido, en primer lugar por Buys-Ballot [3], quien utilizó un vagón abierto arrastrado por una locomotora en una sección recta de una línea ferroviaria para llevar ya la fuente móvil o el observador. La fuente consistía en unas trompetas y los observadores eran también músicos que estimaban a oído el cambio de tono. Utilizó trompetas en el coche y observadores en la vía, y viceversa. No hace falta decir que el ruido de la locomotora ocasionó cierta dificultad, pero los resultados coincidieron con la teoría tanto como podía esperarse. Por cierto, Buys-Ballot propuso cierta crítica de la afirmación de Doppler de que el ojo podía detectar diferencias de color debidas a los movimientos de las estrellas, que fue contestada por Doppler. Scott Russell en 1848 [4] llevó a cabo experimentos en Inglaterra en una forma semejante. Pruebas más precisas fueron las de H. C. Vogel en 1876 [5] utilizando una locomotora con un silbato que daba una nota muy pura. Las notas del silbato al acercarse y alejarse fueron contrastadas con un violín.

Fizeau [6], a cuyo importante artículo se hará referencia más adelante, preparó un ingenioso experimento de laboratorio para demostrar el efecto Doppler. Una rueda de un metro de diámetro llevaba una cartulina fijada radialmente; se colocaron dientes en un arco pequeño encima y debajo para que la cartulina los rozase al moverse la rueda. Así, cuando la cartulina vibraba al rozar con un grupo de dientes constituía una fuente que se acercaba a un observador colocado en el plano de rotación de la rueda; y cuando rozaba con el otro grupo de dientes, una fuente que se alejaba. En esta forma se obtenían en el experimento diferencias de tono de una tercera mayor (razón 5 : 4), que coincidían muy bien con el valor calculado a partir de la velocidad.

Un método simple, inventado por K. R. König [7] hacia 1865, tiene interés para ilustrar el método de una aplicación muy reciente del efecto con ondas de radio, que se mencionará más adelante. Se ajustan dos diapasones para dar 4 pulsaciones por segundo al vibrar juntos. Si uno está en reposo mientras que el otro se mueve con velocidad uniforme hacia el oído, el número de pulsaciones cambia, aumentando o disminuyendo según que el diapasón móvil sea el más grave o el más agudo de los dos. Lo que sucede con este método de

pulsaciones es que, siendo tan sensible a cambios de frecuencia, una velocidad muy pequeña respecto a la velocidad de la onda es suficiente para producir un efecto detectable. Con dos diapasones de König de frecuencia 512, una velocidad de 60 cm/sec produce un cambio de una pulsación por segundo. Con una frecuencia de 1024, bastan 30 cm/sec para producir este cambio. Cuanto más alta la frecuencia más pequeña la velocidad de la onda que puede ser detectada.

Una demostración experimental del efecto en la propagación lumínica es, desde luego, mucho más difícil que con el sonido, pero fue llevada a cabo por Belopolski hacia 1900 [8]. Utilizó para ello el fenómeno de que en una reflexión múltiple de luz de una fuente situada entre dos espejos casi paralelos, el efecto de la velocidad de cada espejo es multiplicado por n en la n-ésima reflexión. Usaba dos ruedas, girando en sentido opuesto, cada una con varios espejos montados radialmente: el tener varios espejos sirve solamente para aumentar la intensidad. Se tomó como frecuencia fija para ser modificada por reflexión en los espejos móviles las líneas de Fraunhofer de la luz solar. Con el radio usado, unos 22 cm, y una velocidad de rotación de 44 revoluciones por segundo, se podían utilizar cuatro reflexiones efectivas y a veces seis. Se obtuvo un buen acuerdo con la teoría. En la repetición del experimento con un espectroscopio mejor, por el príncipe Galitzin y J. Wilip en 1907 [9], el desplazamiento observado de las líneas de mercurio coincidía dentro de un 5% con el calculado por la fórmula de Doppler. Majorana, utilizando un aparato modificado del mismo tipo, verificó el principio con mayor precisión aún en 1918.

El efecto Doppler para la luz fue establecido experimentalmente en forma menos complicada por Fabry y Buisson en 1919 [10]. Emplearon un disco, de sólo 16 cm de diámetro, que giraba alrededor de un eje vertical a unas 200 vueltas por segundo, de tal forma que la velocidad periférica era sólo 3×10^{-7} de la de la luz. La fuente luminosa consistía en dos puntos en los extremos opuestos de un diámetro fijo, iluminados por una lámpara de mercurio. Se observaba en una dirección normal a la línea de unión de los puntos luminosos y muy inclinada respecto al plano del disco, de tal forma que las fuentes eran pequeñas e intensas y toda la velocidad efectiva. La diferencia de frecuencias entre la luz del punto que se acercaba y la del que se alejaba se medía mediante el interferómetro Fabry-Perot, gracias a cuya sensibilidad se pudo comprobar el efecto con una precisión del 3%, hazaña extraordinaria con velocidades tan bajas.

Ya hemos dicho bastante acerca de la comprobación experimental del efecto. De gran importancia para las aplicaciones astronómicas fue un artículo de Fizeau, cuyo nombre es conocido a todos los físicos por su medida de la velocidad de la luz. Fue presentado en la *Société Philomathique* en 1848, pero no se publicó completo hasta 1870 [6]. Contiene una relación del experimento acústico mencionado antes. Pasando a considerar el caso de la luz, Fizeau propuso que se utilizasen líneas espectrales agudas para proporcionar las frecuencias cuya modificación quiere medirse, y sugirió calcular la desviación con un espectroscopio prismático. Calculó que para una línea en la región del sodio D, a una velocidad igual a la de Venus, debe producirse una desviación de 2,65″, que puede ser doblada girando el prisma 180°, y dice específicamente que de esta forma puede medirse la velocidad radial de las estrellas distantes. Considera también las dificultades prácticas: como la luz de la estrella es débil, sería necesario un prisma que cubriese todo el objetivo, y es difícil obtener un prisma homogéneo tan grande. Concluye diciendo: «*Il est donc permis d'espérer que ce genre d'observation sera possible et que l'expérience pourra prononcer sur la réalité des phénomènes indiqués.*» Aquí se vislumbra claramente el método acertado de aplicación del efecto a la astronomía, al contrario de las afirmaciones imposibles de Doppler. Fizeau no menciona a Doppler. Por cierto que Belopolski y otros llaman a este principio ley de Doppler-Fizeau.

Las primeras aplicaciones astronómicas prácticas fueron publicadas en 1868 por Sir William Huggins [11]. Después de consultar a Clerk Maxwell hizo medidas en Sirio, seleccionada como la estrella más brillante del firmamento, utilizando la línea F del hidrógeno, de cuyo desplazamiento dedujo una velocidad de alejamiento de 46 km/s. Esto era antes de la aplicación de la fotografía a la espectroscopia, y la posición de la línea fue determinada con un micrómetro. Al año siguiente midió de la misma forma las velocidades radiales de otras estrellas: unas se acercaban y otras se alejaban del Sol. Las medidas no fueron (consideradas a la luz de trabajos modernos) muy precisas, pero sí de importancia para establecer el método. Los primeros resultados de confianza fueron obtenidos por H. C. Vogel [12] en 1888 usando el método fotográfico. Desde entonces las notables mejoras en el telescopio, espectroscopio y placas fotográficas

han hecho posibles trabajos de mucha más precisión y hoy se pueden medir incluso velocidades de 1 km/sec. Se han registrado velocidades radiales de varios miles de estrellas. El desplazamiento Doppler hacia el rojo en los espectros de nebulosas ha sido estudiado con gran interés para probar que el universo está en expansión. En el caso de las más remotas nebulosas observadas, la velocidad de recesión excede algo un quinto de la de la luz, de tal forma que el cambio de longitud de onda excede de 20%, a lo que corresponde un cambio notable de color, como Doppler había anticipado originalmente para las estrellas.

También se ha aplicado el efecto Doppler a la rotación del Sol (Fig. 2). Las líneas espectrales de la luz del borde oriental del Sol se desplazan hacia el violeta, comparadas con las del borde occidental; esto es claramente la consecuencia de una rotación que hace que el borde oriental se acerque a la Tierra y el occidental se aleje. El desplazamiento es muy pequeño, la diferencia entre la luz de origen oriental y occidental es de sólo 1/75 000 de la longitud de onda utilizada, lo que corresponde a una velocidad de acercamiento y alejamiento de unos 2 km/sec o una rotación en unos 25 días. La intensidad de la luz solar permite una dispersión mayor que la que es posible con la luz estelar, obteniéndose una gran precisión. Se ha medido la rotación en varias latitudes con resultados muy interesantes. Por este mismo método general se ha medido también la rotación de los anillos de Saturno y de varios planetas. Deben mencionarse con más detalle las estrellas binarias, cuya naturaleza fue revelada gracias al efecto Doppler en la luz de las dos componentes, que están demasiado próximas para poder ser resueltas telescópicamente. Es claro que las variaciones periódicas de los desplazamientos Doppler nos revelan el período de estas estrellas, que son llamadas binarias espectroscópicas. La primera fue descubierta por E. C. Pickering [13] en 1889: Mizar (ζ *Ursae Majoris*). El período era de 104 días. Hoy se conocen miles de binarias espectroscópicas, algunas con períodos de menos de un día.

Una importante aplicación terrestre del efecto lumínico de Doppler fue descubierta en 1905 por Johannes Stark [14] cuando obtuvo el efecto con rayos canales (rayos positivos) en un tubo de descarga de hidrógeno. Encontró que observando normalmente a la dirección de los rayos, las líneas de Balmer del espectro de hidrógeno presentaban frecuencia y carácter normales. Sin embargo, si se observaban desde una posición tal que los rayos se moviesen hacia el espectroscopio, las líneas se ensanchaban hacia el violeta, mientras que observando desde la dirección opuesta se ensanchaban hacia el rojo. El efecto general correspondía pues a lo que debía esperarse si las partículas móviles emitiesen las líneas; el carácter continuo del ensanchamiento se debía al hecho de que, a causa de las colisiones, los emisores de luz tienen todas las velocidades posibles hasta la máxima. La magnitud del ensanchamiento permite determinar la velocidad máxima de las partículas luminosas, que es menor que la calculada a partir del potencial aplicado, suponiendo que ocurra una aceleración sin estorbos. El efecto Doppler es pronunciado, pues es fácil obtener en el tubo de descarga velocidades de varias milésimas de la de la luz.

Stark y otros, especialmente Rau, han llevado a cabo bastantes investigaciones sobre este efecto en varios gases, trabajos que en aquella época tuvieron gran importancia como prueba del estado eléctrico de los átomos, que emiten líneas espectrales de arco y chispa, y de las moléculas que emiten espectros de banda. Cuando en 1919 se otorgó el premio Nobel a Stark, la referencia principal fue a sus investigaciones «que hicieron época» sobre el efecto Doppler en rayos canales, mencionándose el efecto Stark como suplementario.

En un gas luminoso cualquiera, la agitación térmica ordinaria se traduce en que los átomos y moléculas utilizados en la emisión se mueven en todas las direcciones y deben por tanto mostrar un efecto Doppler, que se manifiesta como un ensanchamiento de la línea en cuestión: simétrico, pues hay tantas fuentes luminosas alejándose como acercándose. Sin embargo este efecto debería ser muy pequeño puesto que, por ejemplo, la velocidad media de un átomo de hidrógeno a 100° C es de una cienmilésima de la de la luz. Como una medida precisa del efecto se utiliza lo que se llama la anchura de media intensidad. Para dar una idea del orden de magnitud, en la línea D de sodio a 300° C, el ensanchamiento Doppler, tal como se le ha definido, es de unos 0,02 Å, o 1/300 de la distancia entre las líneas D. Esto se puede medir fácilmente con técnicas espectroscópicas modernas. Debido a su peso atómico más pequeño, las líneas del hidrógeno en las mismas circunstancias son más anchas. En los trabajos espectroscópicos muy precisos se ha conseguido mayor definición de esas líneas utilizando el tubo de descarga en aire líquido. Por otra parte el ensanchamiento Doppler suministra datos muy importantes en relación con el famoso

ZETA, donde se ha utilizado para calcular la temperatura en la descarga [15]. La anchura de las líneas medidas es del orden de 1 Å.

En un campo completamente diferente, el efecto Doppler ha sido utilizado recientemente con gran éxito en la navegación aérea, donde siempre ha sido un problema muy importante medir velocidades respecto al suelo. Los tipos antiguos de instrumentos dan la velocidad respecto al aire y, como frecuentemente no se conoce con gran precisión la velocidad del viento local, no indican con seguridad la posición del aparato. El experimento de los diapasones de König, donde un movimiento con una velocidad de una milésima de la del sonido alteraba perceptiblemente la frecuencia de las pulsaciones, proporciona el principio. Imagínese que un avión manda dos haces de ondas hertzianas una hacia adelante y otra hacia atrás, dirigidas lo suficientemente hacia abajo para que sean reflejadas (o, hablando más correctamente, dispersadas) de nuevo hacia el aparato desde el suelo, a una distancia no muy grande. El efecto Doppler debido a la fuente móvil hará la frecuencia del haz delantero un poco más alta y la del haz trasero un poco más baja que la de la onda emitida; la magnitud del cambio de frecuencias es proporcional a la velocidad del aparato. Estas dos frecuencias ligeramente diferentes recibidas por el avión producen mediante interacción una frecuencia de oscilación relativamente baja. Por métodos instrumentales modernos y haciendo uso de una rueda fónica, el período de esta frecuencia baja controla estrictamente la velocidad de revolución de un motor, que mediante otros mecanismos ingeniosos, se hace que proporcione al piloto lecturas directas de la velocidad respecto al suelo y de la distancia volada. Para medir el desplazamiento en la dirección normal a la ruta de viaje los dos haces están dirigidos de tal forma que uno va hacia babor y otro hacia estribor, y la información se obtiene de un modo semejante al que hemos descrito.

Un ejemplo numérico puede ser útil. En una instalación Marconi real la frecuencia de la onda emitida es 8800 Mc/s. Puesto que existe una reflexión, el efecto debido al movimiento del aparato, que es a la vez emisor y receptor, viene doblado. Por otra parte, si el haz está dirigido hacia abajo formando un ángulo de 60° con la vertical, que es aproximadamente el ángulo utilizado, el componente de la velocidad del avión, que vuela horizontal, a lo largo del haz está dividido por dos. De esta forma todo lo que hay que considerar es el efecto normal debido a una fuente que se mueve en una línea respecto a un observador fijo. Si la velocidad del avión es de 535 km/hora (que es aproximadamente dos millonésimas de la velocidad de la luz), el aumento de frecuencia del haz delantero reflejado será $8800/2 = 4400$ c/s, y la disminución de frecuencia del haz trasero reflejado será también de 4400 c/s; de esta forma la frecuencia dominante es de unos 8800 c/s, que es una nota perfectamente audible, unas cinco octavas por encima del *do* medio. Su frecuencia es suficientemente baja para controlar la rotación de un motor fónico, que regula los engranajes.

Un último ejemplo es el uso del efecto Doppler para seguir el vuelo de los satélites artificiales alrededor de la Tierra. El transmisor a bordo del satélite emite una onda continua de frecuencia fija, cuyas modificaciones son detectadas por el observador y utilizadas en la forma descrita recientemente en ENDEAVOUR [16].

La historia del principio de Doppler es pues extraña. Fue propuesto hace más de cien años por Doppler, con el solo objeto de explicar el color de las estrellas, pero las deducciones de las pruebas experimentales que adujo para mantenerlo eran completamente erróneas. Algunas décadas más tarde mostró tener aplicaciones astronómicas de importancia, que aumentaron a medida que transcurrió el tiempo, y actualmente ha servido para proporcionar la prueba experimental más importante de un universo en expansión. El modesto austríaco se extrañaría de ver la actual amplitud e importancia de un trabajo que durante su propia vida despertó poca atención.

REFERENCIAS

[1] DOPPLER, C. *Abh. Böhm. Wiss.* (v), **2**, 465, 1843.
[2] YOUNG, T. *Phil. Trans. roy. Soc.*, **92**, 12, 1802.
[3] BUYS-BALLOT, C. H. D. *Pogg. Ann.*, **66**, 321, 1845.
[4] RUSSELL, J. S. *Brit. Assn. Rep.*, **18**, 37, 1848.
[5] VOGEL, H. C. *Pogg. Ann.* **158**, 287, 1876.
[6] FIZEAU, H. *Ann. Chim.* (*Phys.*) (IV), **19**, 211, 1870.
[7] KÖNIG, K. R. *Catalogue des appareils d'acoustique.* París, 1865.
[8] BELOPOLSKI, A. *Astrophys. J.*, **13**, 15, 1901; *Bull. Acad. Sci. St. Péters.*, **13**, 462, 1900.
[9] GALITZIN, B. y WILIP, J. *Astrophys. J.*, **26**, 49, 1907.
[10] FABRY, C. y BUISSON, H. *J. Phys.*, **9**, 243, 1919.
[11] HUGGINS, W. *Phil. Trans. roy. Soc.*, **158**, 529, 1868.
[12] VOGEL, H. C. *Astr. Nachr.*, **119**, 97, 1888.
[13] PICKERING, E. C. *Amer. J. Sci.*, **39**, 46, 1889.
[14] STARK, J. *Phys. Z.*, **6**, 893, 1905.
[15] ALLEN, J. E. *Endeavour*, **17**, 117, 1958.
[16] BURT, E. G. C. *Ibid.*, **17**, 216, 1958.

La superficie de las plantas

B. E. JUNIPER

El grado de retención de los líquidos en la superficie de las plantas varía de una planta a otra y tiene une enorme importancia práctica en la agricultura moderna; la eficacia de los yerbicidas y fertilizantes aplicados a las hojas puede en último término depender de esa característica. Con el desarrollo de nuevos métodos de microscopía electrónica ha sido posible fijar la ultraestructura que determina principalmente la hidrofilia de una superficie.

El reciente interés en el comportamiento de los líquidos sobre las hojas se debe en gran parte al empleo creciente de tratamientos agrícolas por aspersión y, particularmente, al descubrimiento de productos yerbicidas del tipo denominado «reguladores del crecimiento». Las diferencias de susceptibilidad de las distintas plantas a estos yerbicidas hormonales puede deberse a que algunas de ellas poseen superficies con propiedades hidrorrepelentes, de las que se desprenden las gotículas, que no son por tanto absorbidas. Semejantes diferencias de hidrofobismo pueden resultar de la posición de las hojas, de su forma o de su índice de hidrorrepelencia.

El índice de hidrorrepelencia puede establecerse mediante el ángulo de contacto formado por la superficie aire-líquido y el sólido. La hidrorrepelencia de un sólido respecto a un líquido depende no sólo de la acción recíproca entre las moléculas del líquido y los grupos químicos expuestos en la superficie sólida, sino también en la contextura de esta superficie [1]. El ángulo de contacto más elevado para una superficie plana de una substancia artificial no es mayor, con toda probabilidad, de 105°. Sin embargo, las hojas y superficies de muchas plantas presentan ángulos de contacto aparentes muy superiores a ese valor. El ángulo puede variar considerablemente de una parte a otra de la planta y puede asimismo estar sujeto a cambios diurnos [2].

En la mayoría de especies, las rugosidades de la superficie que explican el elevado valor del ángulo de contacto no pueden observarse por medio del microscopio ordinario; se ha procurado utilizar el elevado poder de resolución de un microscopio electrónico. El problema de observar en el microscopio electrónico un objeto tan sólido como una hoja puede obviarse empleando una réplica de la superficie. Se confecciona un molde negativo de la superficie en un material transparente e inerte al destello electrónico. La réplica negativa puede observarse directamente, o puede hacerse un molde de esta negativa de un espesor conveniente y observarse la reproducción positiva en el microscopio. Existen varios materiales utilizables para obtener reproducciones de superficies, incluyendo ciertos plásticos [3–5].

Sin embargo, este método necesita el humedecimiento de la superficie de la hoja. Esto puede evitarse con el empleo de carbono evaporado para producir la réplica [6]. El carbono es completamente inerte, no cristalino, y puede reproducir detalles del orden de 1 mμ; puede asimismo emplearse para reproducir superficies biológicamente «humedecidas», lo que no es posible con los plásticos ordinarios. Este método produce bien una seudo-réplica o una verdadera. En el primer caso, partes de la superficie original quedan incrustadas en la capa de carbono (Figs. 1 y 3); en el segundo (Fig. 2), se forma solamente una reproducción de carbono. Cualquiera de las réplicas es fácilmente interpretable.

Las réplicas ponen de manifiesto diminutas proyecciones que emergen de la superficie de la cutícula en muchas plantas. Se supone que estas proyecciones son de cera exudada a través de la cutícula; son de formas diferentes y pueden muy bien ser características de las especies, del género y aun de la familia; pero aun cuando A. de Bary [7] en 1871, agrupó los tipos de estructuras cerosas que se encuentran en las hojas, no parece todavía posible obtener una clasificación por este procedimiento. Todas las formas de *Brassica oleracea* parecen muy semejantes (Fig. 1). El guisante de jardín (Fig. 21) se asemeja al acónito blanco (Fig. 4), pero otro tanto puede decirse del no afín *Galanthus nivalis*, la campanilla blanca (Fig. 9). Por otra parte, el *Chrysanthemum segetum* (Fig. 3) parece totalmente dispar de cualquier otra especie de *Chrysanthemum*.

La microestructura de la superficie no es necesariamente la misma en toda la planta. Las Figs.

FIGURA 1 – *Superficie adaxial de* Brassica oleracea var. capitata.

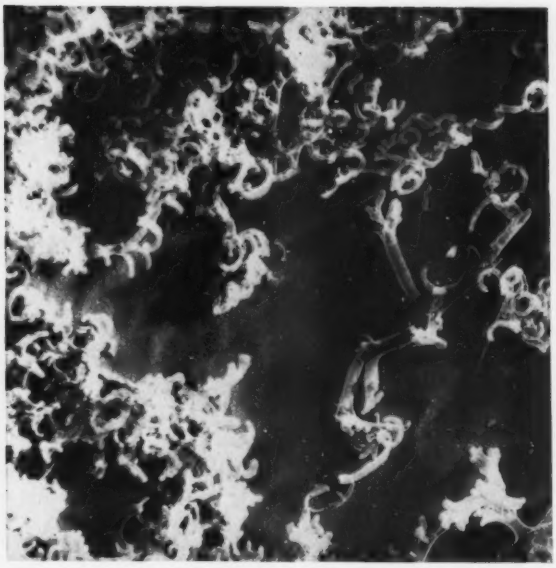


FIGURA 3 – *Superficie adaxial de* Chrysanthemum segetum.

FIGURA 2 – *Superficie adaxial de* Hyacinthus orientalis.

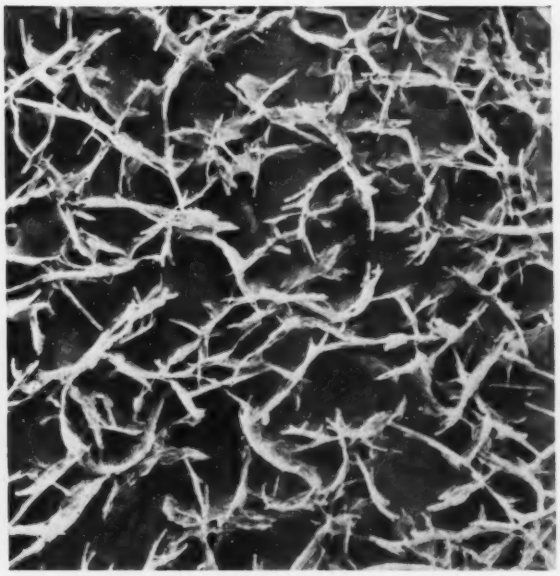


FIGURA 4 – *Superficie adaxial de* Lupinus albus.

(*Réplicas de carbono de superficies foliares* × 10 850.)

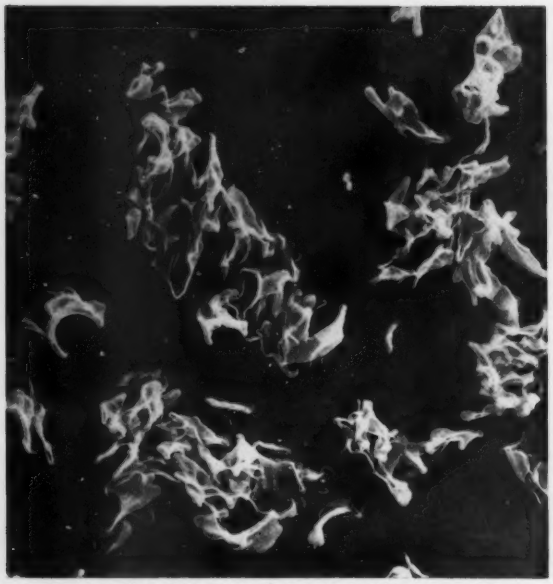


FIGURA 5 – *Superficie adaxial de hoja de* Kleinia articulata.

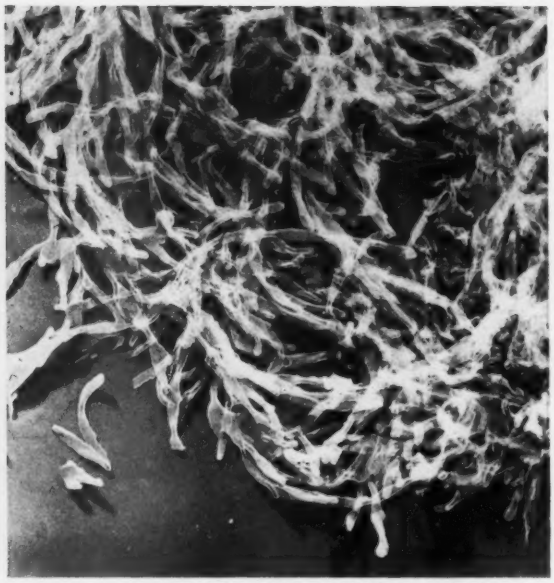


FIGURA 8 – *Superficie de tallo de* Kleinia articulata.

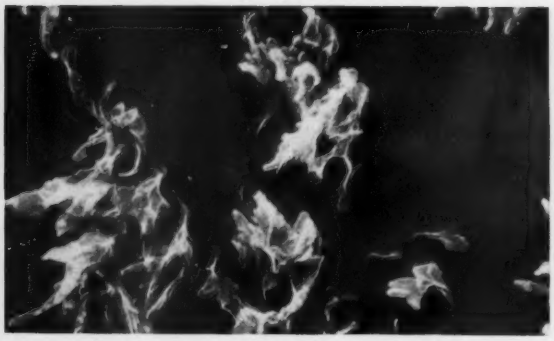


FIGURA 6 – *La misma, después de inmersión de un segundo en agua destilada.*

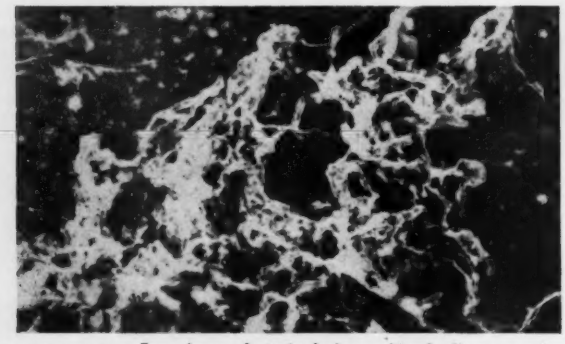


FIGURA 7 – *La misma, después de inmersión de diez segundos en agua destilada.*

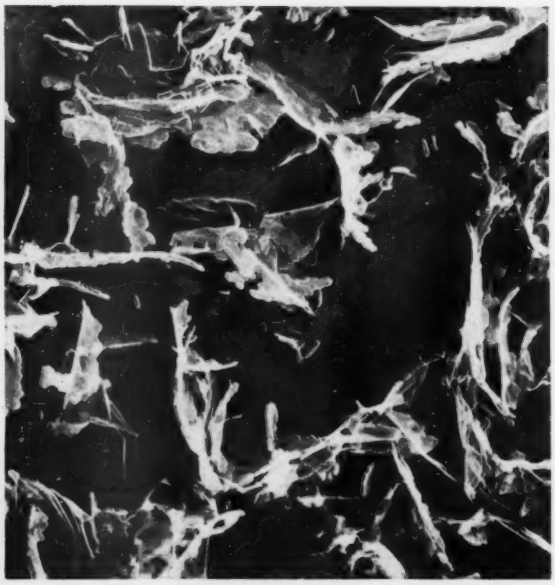


FIGURA 9 – *Superficie adaxial de hoja de* Galanthus nivalis.

Testimoniamos nuestro agradecimiento a Miss Joan Sampson por las micrografías electrónicas, y a Sir Paul Fildes, F.R.S. por el uso del microscopio electrónico de la *Sir William Dunn School of Pathology*, de Oxford.

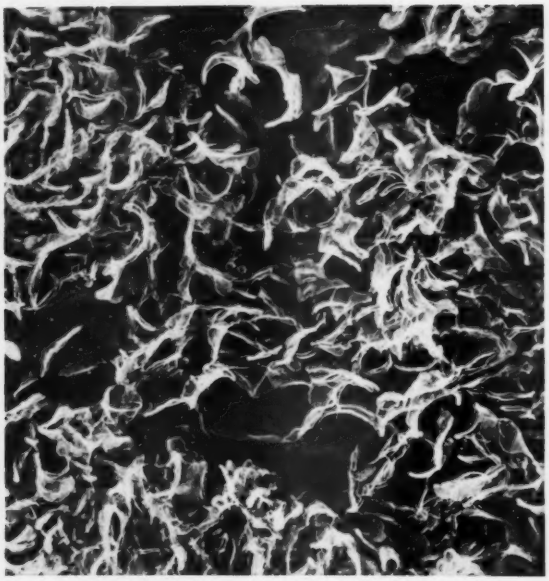


FIGURA 10 – *Superficie adaxial de hoja de* Bryophyllum tubiflorum.

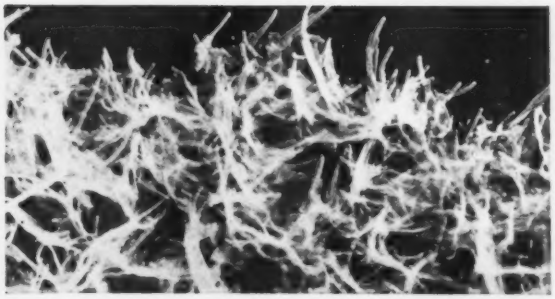
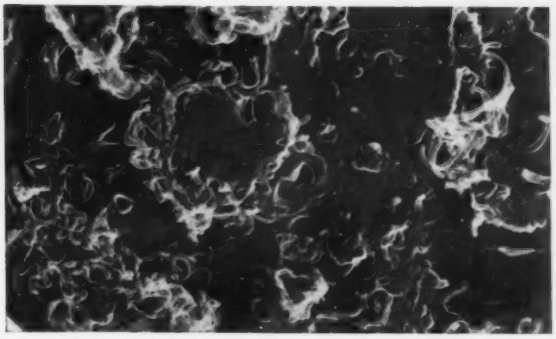


FIGURA 13 – *Superficie adaxial de hoja de* Lupinus albus *(reproducción doblada).*



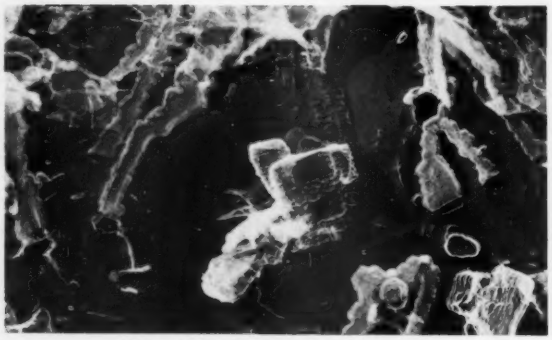
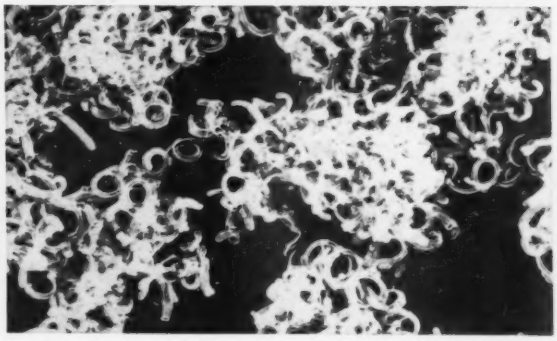


FIGURA 11 – *Superficie abaxial de hoja de* Pisum sativum.



FIGURAS 14 *(arriba) y* 15 – *Superficies adaxiales de hoja de* Chrysanthemum segetum *inmediatamente después de un traumatismo, y siete días más tarde, respectivamente.*

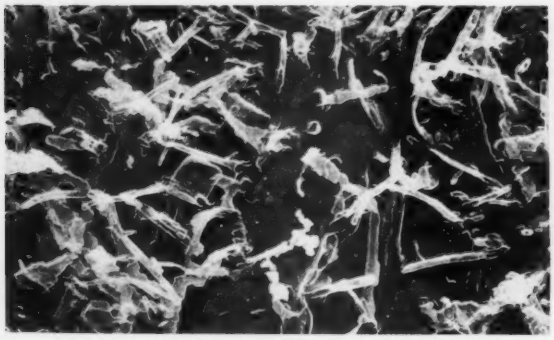


FIGURA 12 – *Superficie de tallo de* Pisum sativum.

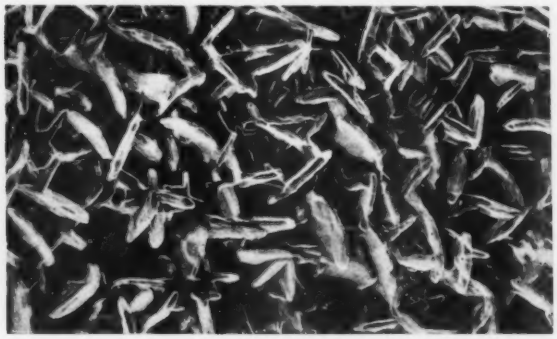


FIGURA 16 – *Superficie adaxial de* Pisum sativum *cultivado en túnel de viento a una velocidad de* 40 *km/h.*

Figura 17

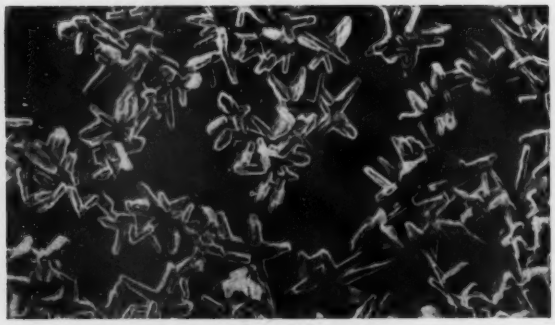


Figura 18

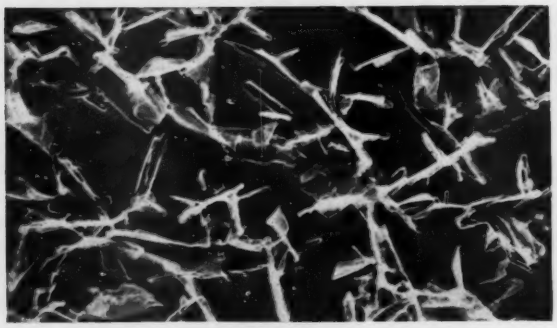


Figura 19

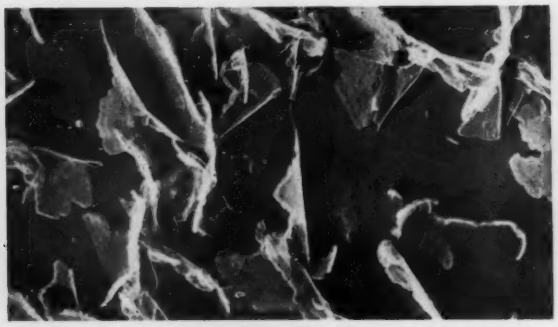


Figura 20

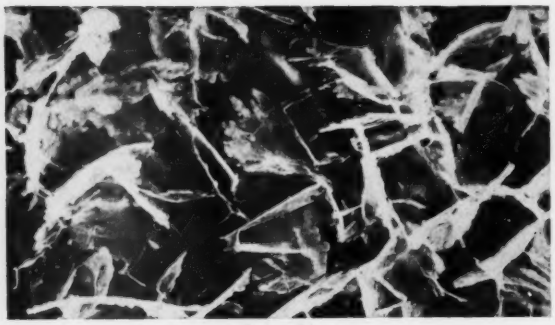


Figura 21

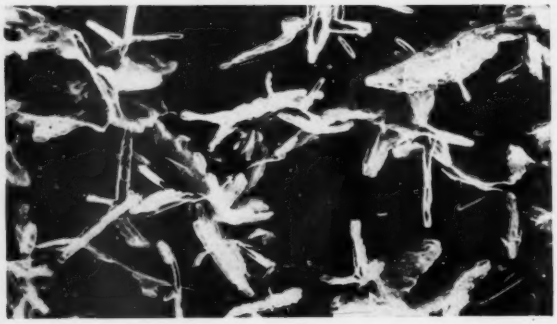


Figura 22

Figura 23

Figura 24

FIGURAS 17–20 – Pisum sativum *cultivado en la oscuridad hasta la fase de la segunda hoja. Fig.* 17*:* 24 *horas después de pasar a la luz. Fig.* 18*:* 48 *horas después de pasar a la luz. Fig.* 19*:* 72 *horas después de pasar a la luz. Fig.* 20*:* 7 *días después de pasar a la luz.*

FIGURAS 21–24 – Pisum sativum. *Fig.* 21*: cultivado a una intensidad de luz de* 50 000 *lux. Fig.* 22*:* 15 000 *lux. Fig.* 23*:* 9000 *lux. Fig.* 24*: cultivado en la oscuridad.*

21, 11, y 12 presentan las superficies adaxial, abaxial y del tallo de un guisante, y las Figs. 5 y 8 las superficies del tallo y de la hoja de *Kleinia articulata*. Como norma general, las hojas de una cotiledónea son lisas, aun en plantas que presentan una estructura superficial compleja en alto grado en otros órganos. El grado elevado de resistencia a los yerbicidas que presenta *Chrysanthemum segetum* debe atribuirse a la presencia de proyecciones cerosas encima de todas las partes aéreas de la planta, incluyendo cotiledones, pecíolos, tallos y ambas superficies de la hoja. Otro factor puede ser su capacidad de reponerse de un traumatismo. La Fig. 14 muestra una superficie adaxial inmediatamente después de un magullamiento. La Fig. 15 presenta una hoja similar siete días después de un tratamiento parecido: se han regenerado las proyecciones cerosas.

En condiciones normales, las superficies no resultan de ordinario deterioradas tan severamente. Superficies como las representadas en las Figs. 3, 4, y 21 resisten moderada o extremadamente a las condiciones atmosféricas, y las hojas conservan elevados ángulos de contacto hasta su senectud. Por otra parte, superficies como las de las Figs. 1, 2, 5, y 10 se deterioran fácilmente y solamente conservan su hidrofobia durante unos días. La causa es, de ordinario, un simple traumatismo tal como la rotura o aplastamiento de las diminutas proyecciones, pero las Figs. 6 y 7 muestran el efecto de la inmersión de la hoja de *Kleinia articulata* en agua destilada. Las superficies de las otras plantas ilustradas no parecen afectadas de este modo por el agua. El efecto indirecto de otros cambios de medio ambiente puede ser igualmente notable. Las Figs. 21 a 24 muestran el efecto de reducir la intensidad de luz que incide sobre la superficie de la hoja de los guisantes. El valor del ángulo de contacto está en relación directa con el desarrollo de la superficie cerosa, y esto tal vez pueda contribuir a esclarecer el aumento de susceptibilidad de las malas yerbas que crecen debajo de la cosecha y son rociadas después de la recolección. Otro cambio debido al medio ambiente se observa en las hojas expuestas a vientos de gran velocidad, las cuales parecen desarrollar una capa más densa y compacta de proyecciones cerosas. (Compárese la Fig. 16 con la Fig. 21.)

Varios compuestos, como el ácido tricloroacético se emplean en agricultura para el tratamiento del suelo antes de la germinación y producen el efecto de aumentar la susceptibilidad de algunas malas yerbas a los yerbicidas. Bajo el microscopio electrónico se ve que las proyecciones de cera disminuyen progresivamente de tamaño al aumentar la concentración del tratamiento y presentan una superficie de más baja hidrorrepelencia [8].

Es difícil comprender el proceso de desarrollo de esas proyecciones. Varias de las superficies presentan proyecciones con relieves anulares que hacen suponer cierta forma de crecimiento fásico (Figs. 1 y 11). Como no es posible obtener réplicas de hojas menores de unos 3 mm, el estudio del desarrollo de la superficie a partir de su fase primordial no es aún viable. Las hojas más jóvenes que pueden estudiarse tienen superficies parecidas ya a las de las hojas maduras. Para obtener conocimientos del desarrollo de la cera sobre una superficie puede procederse al cultivo de guisantes en la oscuridad hasta la fase de la segunda hoja. En la oscuridad no se forman proyecciones cerosas, pero se desarrollan bastante rápidamente después de exponerlas a la luz (Figs. 17–20). La transición de una fase a otra es difícil de explicar, puesto que debemos suponer una reorganización continua de la superficie. Además, nunca se han podido observar poros que condujeran a la formación de proyecciones como las que aparecen en las Figs. 2 y 8; tales proyecciones deben haber surgido en forma de líquidos.

La aparición de tales proyecciones sobre las superficies, tal como se ven por el microscopio electrónico, concuerda con los ángulos de contacto de más de 105° registrados para esas superficies. La Fig. 13 reproduce una impresión de una sección transversal de una hoja con una resolución de ese orden. En este caso la película de carbono se ha curvado y está fotografiada perpendicularmente al plano normal de visión, dando lugar a una imagen transversal. Esto demuestra por qué las numerosas proyecciones mantienen alejada la gotícula de la pared de la célula.

REFERENCIAS

[1] Adam, N. K. *Endeavour*, **17**, 37, 1958.

[2] Fogg, G. E. *Proc. roy. Soc., B*, **134**, 503, 1947.

[3] Holdgate, M. W., Menter, J. W. y Seal, M. Actas de la Conferencia Internacional sobre Microscopía Electrónica, Londres. 1954.

[4] Mueller, L. E., Carr, P. H. y Loomis, W. E. *Amer. J. Bot.*, **41**, 7, 1954.

[5] Schieferstein, R. H. y Loomis, W. E. *Plant Physiol.*, **31**, 3, 1956.

[6] Bradley, D. E. *Brit. J. appl. Phys.*, **5**, 65, 1954.

[7] de Bary, A. *Bot. Ztg*, **29**, 9, 10, 1871.

[8] Juniper, B. E. *New Phytol.* (En prensa.)

El paleomagnetismo y las direcciones de los vientos antiguos

N. D. OPDYKE y S. K. RUNCORN

El estudio de la dirección de magnetización de las rocas muestra que la orientación y distancia de los continentes respecto al polo magnético ha cambiado. Sería muy útil confirmar las posiciones que indican esos trabajos, y se ha encontrado que gracias a las areniscas eólicas se pueden determinar las direcciones de los vientos alisios durante la época de su deposición. En este artículo se discuten los métodos utilizados en ambos enfoques, indicándose hasta qué punto se confirman mutuamente.

En un artículo en ENDEAVOUR, S. K. Runcorn [1] describió los progresos en el estudio del magnetismo de las rocas realizados en años recientes. Se han presentado pruebas de gran peso de que, en el tiempo de su formación, algunas rocas ígneas, principalmente lavas, y algunos sedimentos, especialmente areniscas rojas, adquirieron una magnetización que no ha cambiado apreciablemente desde entonces. La magnetización de una serie de rocas de una edad geológica determinada muestra una uniformidad notable, incluso en centenares de kilómetros, y existen razones para creer que esta magnetización remanente representa la dirección media del campo magnético terrestre en aquel tiempo, teniendo en cuenta las desviaciones sufridas por las rocas desde su formación. Se encontró que en Gran Bretaña, donde por vez primera se llevó a cabo un estudio de este tipo en gran escala, ha habido un cambio gradual de la dirección del campo en diversas edades geológicas y que sólo en la época cainozoica (los últimos 60 millones de años) coincide esta dirección con un campo simétrico alrededor del actual eje de rotación de la Tierra.

El campo magnético terrestre actual es aproximadamente el que produciría un imán o «dipolo» poderoso situado en el centro de la Tierra, con su eje coincidiendo con el eje geográfico. Las observaciones históricas indican que el campo cambia irregularmente y esas observaciones nos hacen sospechar que el campo medio durante un período del orden de mil años sería mucho más semejante al de un dipolo axial que lo es el campo actual: la teoría del campo geomagnético apoya fuertemente esta suposición. Es posible, pues, determinar, a partir de la dirección media de magnetización de una formación rocosa (medida en un espesor suficiente para evitar los efectos de las variaciones seculares), las posiciones de los polos con respecto al lugar durante la edad geológica correspondiente.

La determinación de la posición del polo es un paso muy importante en los estudios del magnetismo de las rocas y es importante explicar con mayor detalle el método usado. La Fig. 1 muestra la dirección del campo en la superficie de la Tierra debida a un dipolo en el geocentro. El ángulo de inclinación es el comprendido entre la dirección del campo y la horizontal, y varía desde cero grados en el ecuador hasta 90° en el polo. Una simple fórmula relaciona el ángulo de inclinación con la latitud (λ). Se traza un círculo máximo en la dirección de magnetización de la roca, después de corregir por los movimientos geológicos. A partir de la latitud se determina fácilmente la posición del polo en este círculo máximo.

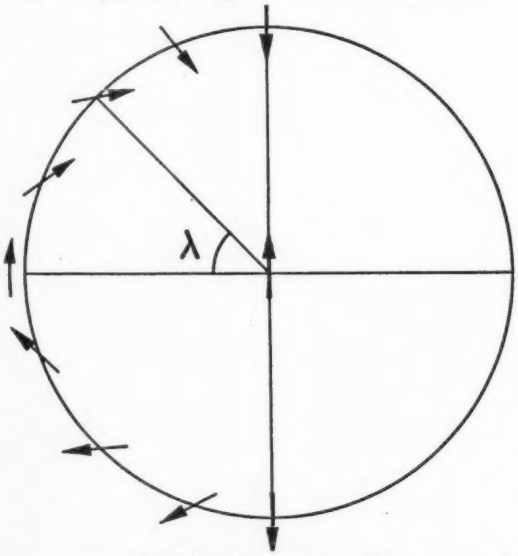


FIGURA 1 – *Dirección del campo magnético en la superficie de la Tierra debida a un dipolo en su centro* [11].

El estudio de las direcciones paleomagnéticas en diferentes edades geológicas y diversos continentes ha avanzado ya considerablemente. Cuando se redactó el artículo referido [1], se había demostrado ya que las posiciones del polo respecto a la Gran Bretaña en períodos geológicos sucesivos yacen en una curva bastante uniforme, acercándose cronológicamente al polo actual. Esto puede interpretarse bien como un desplazamiento de Gran Bretaña respecto al resto de la Tierra, o como un movimiento del eje de rotación respecto a la Tierra. Este movimiento, llamado «deriva» o variación polar, habría ocurrido probablemente si se hubieran producido movimientos internos en el manto de la Tierra y siempre que la figura esferoidal de la Tierra haya podido reajustarse, en períodos del orden de millones de años, a la figura apropiada a la nueva posición del eje de rotación. Así, pues, a primera vista, parecía posible que los datos obtenidos del magnetismo de las rocas podían ser explicados gracias a la deriva polar.

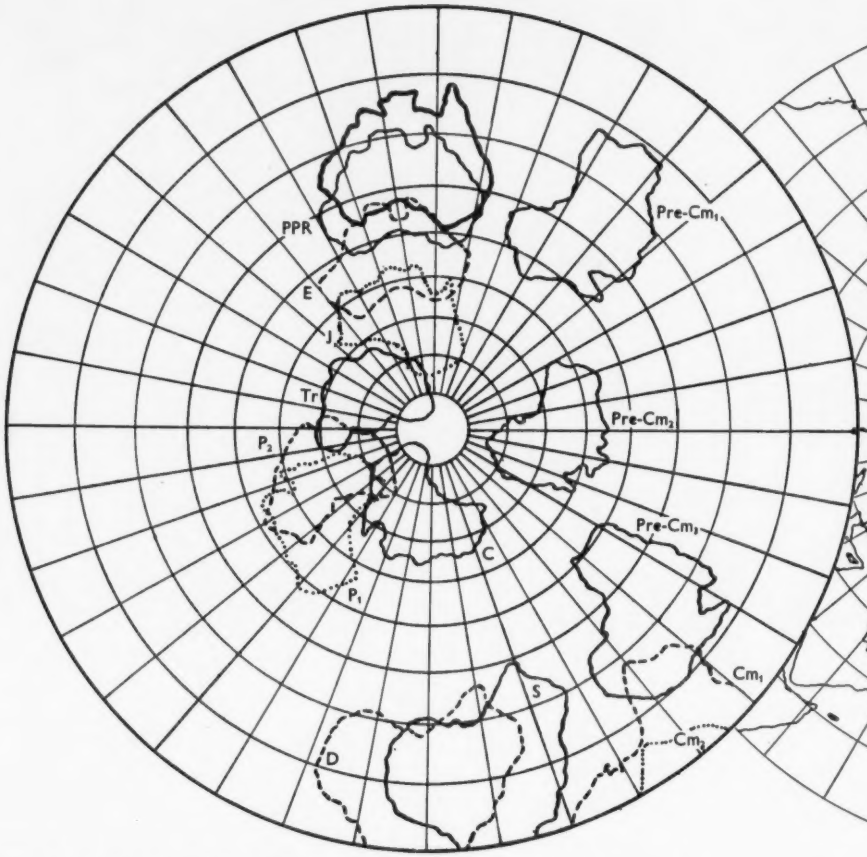
Las curvas de deriva polar obtenidas en otros continentes deberían en este caso estar de acuerdo entre sí. Aunque la de América del Norte tenía un contorno semejante a la de Europa, Runcorn [2] mostró que la curva americana yacía marcadamente al Oeste de la de Europa, como se ve en la Fig. 3 [3]. Así pues, parece que al final de la edad mesozoica, América del Norte se trasladó unos 20° hacia el Oeste con respecto a Europa. Tal movimiento relativo de los continentes, probablemente sobre la base basáltica de los oceanos, está postulado en la teoría llamada del desplazamiento de continentes, que hace mucho tiempo lanzaron algunos geólogos.

Recientemente, E. Irving y R. Green [4] han demostrado que la curva de deriva polar para Australia yace casi lo más lejos posible de las curvas de América del Norte y de Europa. Dicha curva pasa a través del Norte de Africa y se acerca al polo actual desde el Atlántico Norte. Ambas discrepancias sorprendentes resultan más aceptables cuando se nota que, en general, los resultados paleomagnéticos de un continente dan valores de su latitud en la época de formación de las rocas que, a diferencia de las latitudes actuales, no están en conflicto con las indicaciones paleoclimáticas obtenidas geológicamente. En Australia, por ejemplo, Irving y Green (Fig. 2) encuentran que las únicas épocas en que la posición de Australia, deducida de datos paleomagnéticos, está cercana al polo es en el permo-carbonífero y al final del pre-cámbrico, cuando los datos geológicos indican que Australia sufrió extensa glaciarización. Igualmente, los grandes desiertos de los períodos paleozoico y principios del mesozoico en América del Norte y el Norte de Europa aparecen indicados según los datos paleomagnéticos por magnetizaciones casi horizontales, de las que se deduce una posición próxima al ecuador (Fig. 13).

Puede preguntarse si es posible mostrar que las direcciones del campo magnético deducidas paleomagnéticamente son consistentes entre sí en áreas muy extensas. No se han realizado todas las mediciones deseables: casi todas las formaciones rocosas estudiadas hasta ahora se extienden por cientos de kilómetros y ciertamente existe uniformidad en las direcciones paleomagnéticas en tal escala. Sin embargo, es mucho más interesante considerar si las medidas paleomagnéticas de formaciones rocosas de la misma edad en todo un continente indican una misma posición de los polos. Debemos notar aquí que la curva de deriva polar indica un movimiento del polo de aproximadamente un tercio de grado cada millón de años, y, por consiguiente, es posible que durante un mismo período geológico el movimiento polar (aparte de la variación secular que suponemos que se redondea) puede conducir a diferencias de hasta 20 o 30 grados en las direcciones paleomagnéticas de rocas del mismo período geológico. Desgraciadamente, las rocas utilizadas hasta ahora en paleomagnetismo son aquéllas en las que son más raros los fósiles, y por tanto la determinación de su edad geológica con precisión mayor que el mero período geológico resulta muy difícil. Sin embargo, el triásico superior de los Estados Unidos facilita un ejemplo de buena concordancia entre las posiciones del polo determinadas desde áreas muy diferentes, como se ve en la Fig. 14.

Resulta, pues, que la afirmación principal derivada de la interpretación de los estudios magnéticos de las rocas es que el paleomagnetismo proporciona un método para establecer directamente la latitud de un lugar en la época de formación de sus rocas. La prueba de la seguridad de estos métodos depende de que existan otros independientes para poder determinar la latitud en una época geológica remota. La paleoclimatología es el método más evidente.

El movimiento del eje de rotación de la Tierra con relación a las masas terrestres ocasionará el que ciertas regiones continentales queden dentro de la zona de vientos alisios. Afortunadamente, pueden utilizarse dunas y areniscas eólicas para mostrar la dirección de vientos modernos y antiguos respectivamente.



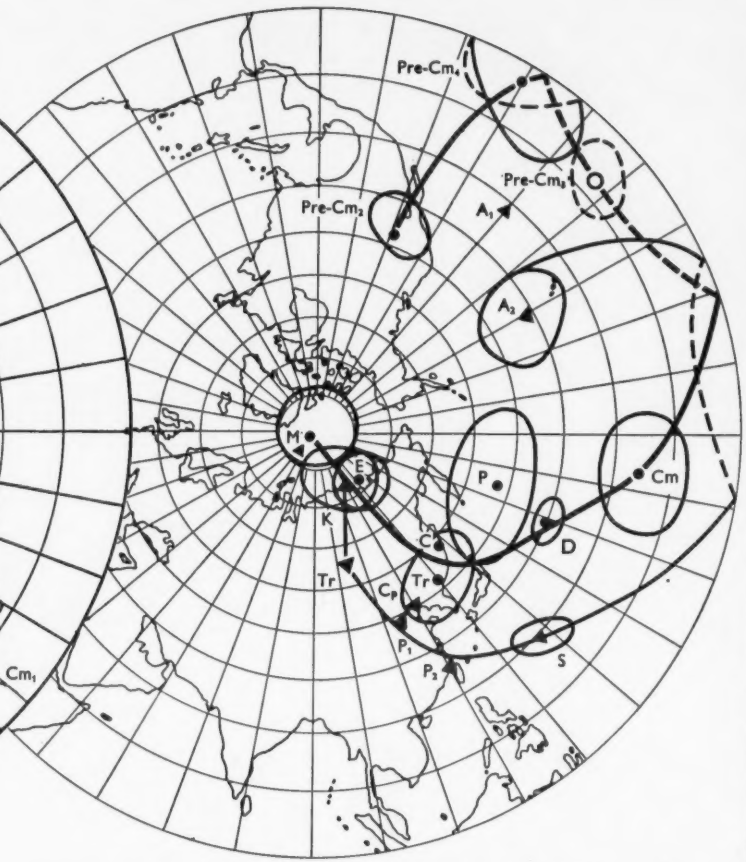


FIGURA 2 – *Posiciones de Australia respecto al Polo Sur en varias épocas geológicas, deducidas de datos paleomagnéticos. La linea gruesa indica la posición actual de Australia* [12].

PPR	*Pliocénico, Pleistocénico y actual*	*D*	*Devónico, probablemente Devónico Inferior*
E	*Terciario Inferior, probablemente Eocénico*	*S*	*Silúrico Superior*
J	*Mesozoico, probablemente Jurásico*	Cm_2	*Cámbrico Medio*
Tr	*Triásico, probablemente Triásico Inferior*	Cm_1	*Cámbrico Inferior*
P_2	*Pérmico, Serie Marina Superior*	$Pre-Cm_3$	*Principio del Proterozoico Superior*
P_1	*Pérmico, Serie Marina Inferior*	$Pre-Cm_2$	*Proterozoico Superior*
C	*Carbonífero Superior*	$Pre-Cm_1$	*Parte Inferior del Proterozoico Superior*

FIGURA 3 – *Curvas de deriva polar para América del Norte y Europa* [3].

M	*Miocénico*	C_p	*Carbonífero (Pensilvánico)*
E	*Eocénico*	*D*	*Devónico*
K	*Cretácico*	*S*	*Silúrico*
Tr	*Triásico*	*Cm*	*Cámbrico*
P	*Pérmico*	*Pre-Cm*	*Pre-Cámbrico*
C	*Carbonífero*	*A*	*Pre-Cámbrico (Algónkico)*

Los triángulos indican la posición del polo determinada por las medidas tomadas con las rocas norteamericanas. Los puntos indican la posición del polo según las medidas británicas. El círculo indica un polo en el hemisferio opuesto. La línea estrecha señala el paso aproximado de la deriva polar según las medidas norteamericanas. La línea gruesa indica la deriva polar según las medidas británicas. Las líneas de puntos marcan la deriva polar en el hemisferio opuesto.

Los óvalos de esta figura y de la Fig. 14 están dentro de un margen de exactitud del 95%.

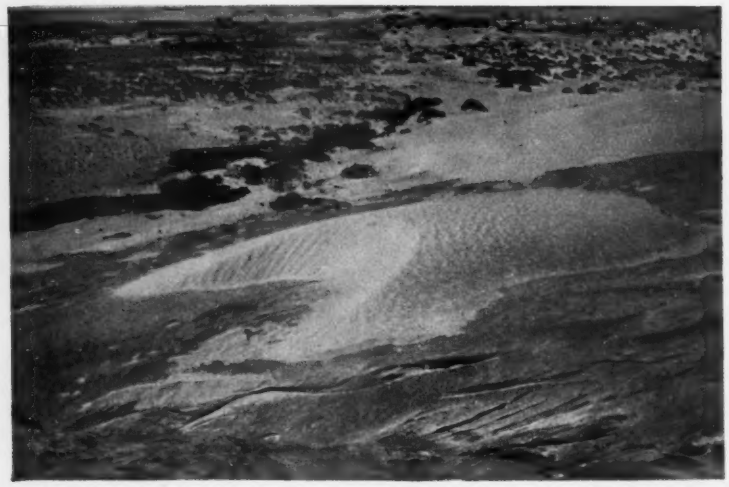


FIGURA 4 – *Duna cerca de Kayenta, Arizona.*

FIGURA 5 (*arriba*) – *Arenisca de Wingate (época Triásica), Colorado River Valley, cerca de Moab, Utah.*

FIGURA 6 – *Arenisca de Navajo (época Jurásica), Mount Carmel Highway, Zion National Park, Utah.*

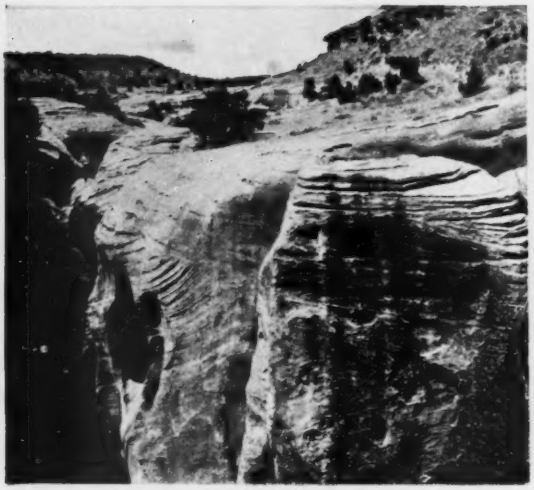


FIGURA 7 – *Arenisca de Weber (época Pensilvánica), ladera sur de las Montañas Uintah, Utah. (El hombre en el ángulo superior izquierda da una idea de la escala.)*

FIGURA 8 – *La arenisca de Weber (época Pensilvánica), Sand Canyon, Dinosaur National Monument, Utah.*

FIGURA 9 – *Arenisca de Tensleep (época Pensilvánica), Tensleep Canyon, Wyoming. Fotografía tomada desde el Este: nótese que la ladera de sotavento tiene dirección sur, lo que indica que el viento soplaba del Norte.*

FIGURA 10 – *Dunas cerca de Kanab, Utah.*

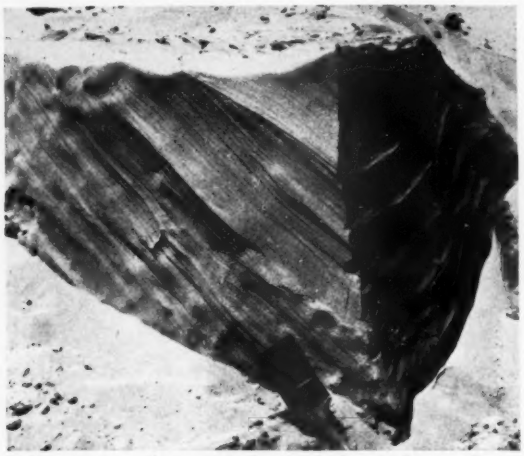


FIGURA 11 – *Corte vertical a través de una duna en Leupp, Arizona (según McKee). (La brocha indica la escala de la sección.)*

DUNAS

Se sabe que en los desiertos en que la cantidad de arena es limitada se forman las llamadas dunas en sierra cuando hay vientos constantes de dirección también constante [5]. La Fig. 4 ilustra una forma de duna casi perfecta. La ladera de barlovento a la derecha es suave y desde ella se va levantando la arena que se deposita al lado de sotavento, más inclinado. Estas dunas tienen forma de media luna, con los cuernos apuntando en la dirección del viento. En el lado inclinado la arena descansa en su ángulo de equilibrio, que es de unos 33°. Esta es la forma más simple, pero donde existe más arena se forman dunas transversales. Consisten en una línea sinuosa con la ladera de sotavento muy pendiente; algunas secciones se asemejan a dunas en sierra. En la Fig. 10 se muestra un ejemplo.

Las capas sucesivas de arena depositadas a sotavento difieren ligeramente en el apelotamiento, distribución de tamaño o color de los granos de arena. Así, si se efectúa un corte vertical a través de una duna, se pueden observar estos «lechos». E. D. McKee [6] ha llevado a cabo estas observaciones en una duna arenosa en Arizona (Fig. 11).

En el pasado se han fosilizado mares de arena semejantes a éstos, los cuales se conservan geológicamente como areniscas eólicas. En estas rocas permanecen restos de los lechos del lado de sotavento, y pueden observarse en cortes de rocas efectuados naturalmente por erosión, o por el hombre en canteras y trincheras de carretera o ferrocarril. Es posible medir el acimut e inclinación de la línea de máxima pendiente en partes de estos lechos. La media de los acimuts da la dirección media de movimiento de las dunas y por tanto la dirección del viento. La dispersión de las direcciones depende de la curvatura de las laderas de sotavento de las dunas y de la variación de la dirección del viento.

El proceso mediante el cual se preserva un mar de dunas es semejante al de cualquier depósito sedimentario, es decir, el hundimiento de la tierra respecto al nivel del mar y la subsiguiente sedimentación de estratos marinos. La arena es cementada por soluciones de silicatos o carbonatos que la permean durante millones de años después del depósito inicial. Una vez expuestas, ocurren ciclos de erosión eólica, y las dunas pueden quedar aplanadas hasta formar una superficie casi llana en la que más tarde se acumulan nuevas dunas. En la Fig. 5 se ven tales superficies de erosión representadas por las líneas horizontales bien marcadas.

En un corte de arenisca eólica es raro ver una parte grande de una sola duna. Corrientemente, la cara vertical de roca revela secciones a través de varias dunas, cada una a un ángulo diferente respecto al lado de sotavento. La planta de los lechos paralelos de una duna es conocida como una unidad de lechos cruzados. En las Figs. 5–9 se muestran ejemplos de ellas.

Desgraciadamente, no existen hoy día pruebas que, aplicadas a una arenisca, permitan determinar con certeza si el ambiente en que tuvo lugar la deposición era acuático o aéreo. Pero si se cumplen todas las condiciones siguientes existe gran probabilidad de depósito eólico.

1. Lecho muy inclinado hasta casi el ángulo de equilibrio de la arena seca (33°) en unidades muy grandes, algunas de las cuales exceden 16 m de altura (*Vid.*, por ejemplo, la Fig. 7). También pueden producirse estructuras de lechos cruzados semejantes mediante deposición en ríos y mares, como resultado de fuertes corrientes, pero por lo general son mucho más pequeñas que las dunas y tienen ángulos de deposición más reducidos.
2. Ausencia, debida a «cernido» por el viento, de micas. Esto se debe a la naturaleza fisible de estos minerales que les hace partirse al chocar.
3. Ausencia de fósiles marinos, que indica depósito continental.
4. Elevados coeficientes de separación y redondez debidos a la forma del transporte de la arena. Los granos muy pequeños de arena son

FIGURA 12 – *Direcciones de los vientos dominantes en Gran Bretaña en la época Pérmica (Según Shotton* [8] *y Opdyke).*

FIGURA 13 – *Direcciones de los vientos dominantes en el Oeste de los Estados Unidos en las épocas Pérmica y Pensilvánica. Resultados para Arizona según Reiche* [10]; *otros resultados según Opdyke y Runcorn* [13].

acarreados más lejos que los grandes y, por tanto, en una duna determinada predominarán granos de un cierto tamaño. Los choques frecuentes redondean los granos.

El método utilizado por los geólogos para determinar la dirección del movimiento de las dunas de arena que forman los depósitos eólicos es muy simple. Se coloca una brújula en el lecho que fue en su tiempo la cara delantera de la duna y se traza la dirección de la normal a una línea horizontal en la cara delantera. Esta representa la dirección en que se movía una porción de la cara de la duna primitiva. Si se efectuan de 30 a 100 medidas, cada una en lechos diferentes, se obtiene el movimiento de las dunas representando cada una de las direcciones por una flecha y derivando la media de todas ellas.

OBSERVACIONES EN GRAN BRETAÑA Y AMERICA DEL NORTE

Al final del período paleozoico existían grandes desiertos en el hemisferio norte, en Inglaterra (períodos triásico y pérmico) y en el Oeste de los Estados Unidos (períodos pérmico y pensilvánico). La edad de esas areniscas eólicas es por tanto 200–250 millones de años.

El paleodesierto del período pérmico de Inglaterra está representado por las areniscas de Penrith, en el valle de Eden. Esta formación fue así descrita [7]: «Observaciones extensas de las direcciones de falsos lechos en la roca muestran que existe una marcada predominancia de falsos lechos inclinados, en general, de Este a Oeste. Suponiendo que la roca de Penrith es de origen eólico, estos lechos hacia el Oeste pueden indicar la dirección predominante de los vientos durante las épocas secas.» Más recientemente, F. W. Shotton [8] coleccionó resultados de las areniscas eólicas pérmicas de toda Gran Bretaña y encontró que el viento que depositó esas arenas era un viento del Este que variaba muy ligeramente

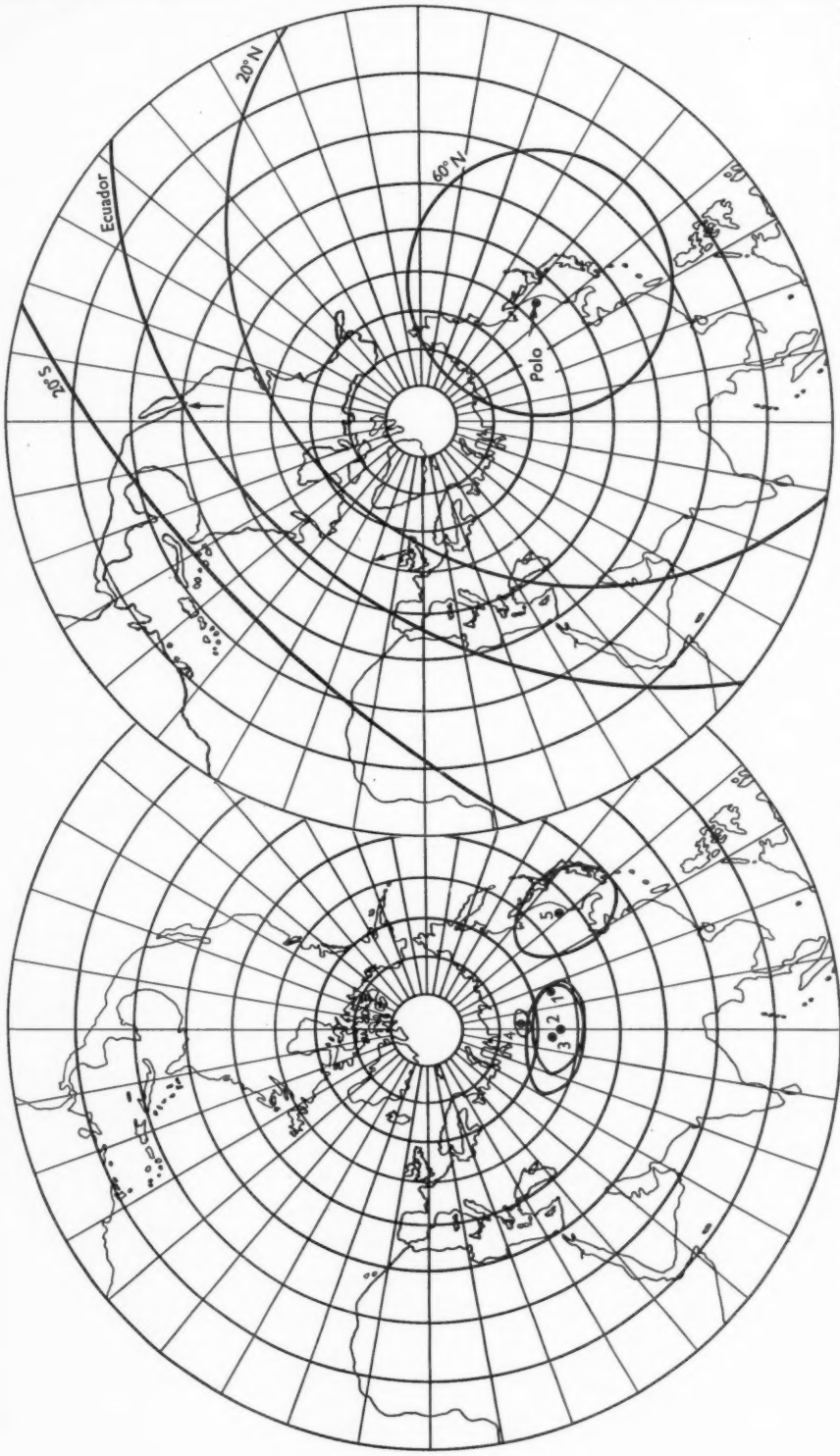


FIGURA 14 – *Posiciones del polo en el Triásico Superior deducidas de datos paleomagnéticos con relación a la Gran Bretaña y los Estados Unidos.* 1, *Areniscas de Springdale, Utah;* 2, *lavas cerca de Holyoke, Massachusetts;* 3, *lavas y sedimentos de Connecticut;* 4, *serie de Newark, Nueva Jersey;* 5, *Keuper Marls, Inglaterra* [14].

FIGURA 15 – *Posiciones relativas de Europa y América del Norte y posiciones del polo, ecuador y paralelos de latitud* 20° *N,* 20° *S, y* 60° *N al final del Paleozoico y principio del Mesozoico deducidos de datos paleomagnéticos.*

desde el Norte de Escocia (Elgin) hasta el Sur de Inglaterra (Devon) (Fig. 12).

En América del Norte, las rocas de Coconino, de la época pérmica de Arizona, han sido identificadas desde hace mucho tiempo como eólicas [9]. Constituyen una característica prominente debajo del borde del Gran Cañón y forman un depósito blanco de unos 100 metros de espesor que se extiende como una formación fácilmente reconocible a lo largo de cientos de kilómetros. P. Reiche [10] examinó las direcciones de las interlaminaciones de esta roca; sus resultados muestran un viento nor-noreste de constancia notable (Fig. 13).

El único paleodesierto del Paleozoico superior existente en los Estados Unidos que haya sido estudiado es un poco más antiguo que las areniscas de Arizona y es predominantemente pensilvánico y de principios del pérmico. Esta formación geológica conocida como areniscas de Tensleep, Casper y Weber, en Wyoming, Wyoming del Suroeste y Utah respectivamente, fue estudiada por nosotros en el verano de 1956 [13]; de nuevo encontramos que la dirección del viento era noreste (Fig. 13).

La posibilidad de trazar la dirección del viento en diversas épocas geológicas a partir de areniscas eólicas es interesante en sí misma; pero es importante en la actualidad porque representa uno de los pocos métodos con que pueden comprobarse independientemente las determinaciones paleomagnéticas de la posición del polo respecto a los continentes. Las pruebas paleomagnéticas sugieren que el Oeste de los Estados Unidos y la Gran Bretaña estaban mucho más cercanos al ecuador en el paleozoico superior que actualmente. La Fig. 15 muestra la posición del ecuador, paralelos de latitud 20° N, 20° S y 60° N y los polos al final del paleozoico y principios del mesozoico.

Se ve que ambas regiones estarían dentro de la zona de vientos alisios norte, si suponemos una anchura de esa zona aproximada a la actual. Es interesante observar que las pruebas derivadas de las rocas eólicas antes descritas apoyan esta hipótesis. Los vientos del Oeste indicados por las deposiciones del pérmico de Gran Bretaña y del final del paleozoico en los Estados Unidos se convierten en vientos del noreste respecto al ecuador de aquellas épocas.

CONCLUSION

Parece, pues, que existe concordancia entre las direcciones del viento y las posiciones del polo en America del Norte y Europa a final del paleozoico y principios del mesozoico, postuladas paleomagnéticamente. Se están estudiando ahora las areniscas de Botucatu en América del Sur, del triásico superior.

Si se extendiese esta investigación tan prometedora a otras regiones del mundo, en especial a las areniscas eólicas de Africa (areniscas de Forrest-Bushveld), el triásico (y quizá el cretácico) de Asia, y las rocas nubias (posiblemente eólicas) del Oriente Medio, se podría aprender mucho acerca de la distribución de vientos y clima de la Tierra en el pasado. Si algún día fuese posible leer en las rocas las direcciones del viento en todas los períodos geológicos en todos los continentes, sería posible determinar a lo largo de toda la historia de la Tierra si las zonas de alisios han cambiado en anchura. Como ésta depende del estado climático general de la Tierra y de su rotación, podrían obtenerse pruebas de gran valor que completarán las geofísicas. Se cree que la velocidad de rotación de la Tierra ha disminuido gradualmente y que hace mil millones de años la duración del día era probablemente de 4 horas. Por lo tanto un método geológico indirecto de determinar la velocidad de rotación de la Tierra a lo largo de las épocas geológicas tendría gran interés.

REFERENCIAS

[1] RUNCORN, S. K. *Endeavour*, **14**, 152, 1955.
[2] *Idem . Proc. Geol. Ass. Canada*, **8**, 77, 1956.
[3] CREER, K. M., IRVING, E. y RUNCORN, S. K. *Phil. Trans., A*, **250**, 144, 1957.
[4] IRVING, E. y GREEN, R. *Geophys. J.*, **1**, 64, 1958.
[5] BAGNOLD, R. A. *Physics of blown sand and desert dunes.* Methuen & Co. Ltd., Londres. 1941.
[6] MCKEE, E. D. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **41**, 1704, 1957.
[7] DAKYNS, J. R., TIDDEMAN, R. H. y GOODCHILD, J. G. *Mem. geol. Surv., U.K.*, Sheet 30, 110, 1897.
[8] SHOTTON, F. W. *Lpool Manchr Geol. J.*, **1**, 450, 1956.
[9] MCKEE, E. D. *Carnegie Inst. Wash. Publ.* No. 440, **77**, 1934.
[10] REICHE, P. *J. Geol.*, **46**, 905, 1938.
[11] CHAPMAN, S. y BARTELS, J. *Geomagnetism*, p. 105. Oxford University Press, Londres. 1940.
[12] CREER, K. M., IRVING, E., NAIRN, A. E. M. y RUNCORN, S. R. *Ann. Géophys.*, **14**, 492, 1958.
[13] OPDYKE, N. O. y RUNCORN, S. K. *Bull. Geol. Soc. Amer.* (En prensa.)
[14] DU BOIS, P. M., IRVING, E., OPDYKE, N. D., RUNCORN, S. K., y BANKS, M. R. *Nature*, Lond., **180**, 1186, 1957.

El planetario

H. C. KING

Desde hace más de dos mil años el hombre se ha esforzado por representar visiblemente los diversos fenómenos astronómicos, tales como los movimientos aparentes de las estrellas, la sucesión del día y la noche, los eclipses de Sol y Luna y las mociones de los planetas. En este artículo se describen los distintos modelos que han conducido finalmente al moderno planetario de proyección.

La noción de que la Tierra no es un disco plano sino un globo situado en el centro de una bóveda esférica parece haberse originado en la Grecia clásica, en los siglos VI y V antes de Cristo, en el momento en que filósofos como Pitágoras y Platón estimulaban el estudio de la geometría y perseguían un enfoque matemático de los fenómenos naturales. Decían que la esfera es la forma geométrica más perfecta y que, por ello, tanto la Tierra como la bóveda celeste tenían esa forma. Por lo mismo, era natural representar también las estrellas en forma de globos, y así se hizo aún mucho antes de construir el primer mapa esférico terráqueo. Los hombres se acostumbraron a agrupar las estrellas en constelaciones también mucho antes de que se pudiera trazar con alguna certeza el mapa del Viejo Mundo: por un lado, el diario girar de los astros en el firmamento nocturno los hacía aparecer regularmente; las estrellas circumpolares se prestaban en especial a la noción de que los astros son como tachuelas luminosas clavadas en una bóveda esférica en continua rotación; por otro, la aceptación general de la noción de una Tierra esférica y el conocimiento cierto de la distribución y forma de las masas continentales no pudo ser una realidad hasta los siglos XV y XVI, época de los grandes viajes de exploración.

Uno de los primeros globos celestes de que se tiene noticia es el que el astrónomo Eudoxio de Cnidos construyó o hizo traer de Egipto hacia 370 a. de J.C. Un siglo más tarde, el poeta ciliciano Aratus compuso su *Phaenomena*, poema que se considera generalmente estar basado en una descripción de las constelaciones establecida por Eudoxio. El globo más antiguo hoy existente (Fig. 1) también parece hallarse relacionado con Eudoxio, ya que la distribución de las 42 constelaciones en relieve sobre su superficie sugiere que fue construido probablemente hacia el año 300. Es una esfera de mármol de 65 cm de diámetro, que sostiene sobre sus poderosas espaldas un Atlas de dos metros. La estatua se conserva en el Museo Real de Nápoles y lleva de antiguo el nombre de *Atlante Farnesiano*.

Según Cicerón [1], C.Sulpicius Gallus, «hombre de muy gran sabiduría», le había relatado que Eudoxio había adornado su esfera celeste «con las estrellas fijas del firmamento y con toda clase de lujos y ornamentos». Gallus también mencionó un modelo mecánico del firmamento que había sido parte del botín de guerra que Marcellus sacó de Siracusa en 212 a. de J.C. Era obra de Arquímedes, quien pereció en el saco de la ciudad; los romanos habían mostrado gran admiración por aquel modelo celeste, o *planetarium*, que Marcellus había hecho instalar en el Templo de Virtus. Gallus describía este planetario como una especie de globo en el que giraban esferas que representaban el Sol, la Luna y los cinco planetas visibles (astros que entonces recibían el nombre de las «siete estrellas errantes»). Cada uno de ellos cumplía sus «varios y desiguales movimientos» durante «una revolución de la máquina».

Lo más probable es que el planetario de Arquímedes fuera un astrolabio esférico o esfera armillar. Eratóstenes, Hiparco y otros astrónomos de Alejandría parecen haber usado una especie de armillar simple para medir la posición del Sol, Luna y otros astros. Por lo común se componía de un grupo de tres o más anillos concéntricos montados sobre una peana o suspendidos por una cuerda del techo. Los anillos representaban el horizonte, el meridiano, el ecuador celeste y la eclíptica, y un anillo adicional con miras permitía medir la distancia angular de un cuerpo celeste desde uno de los círculos de referencia. Los árabes enriquecieron extraordinariamente estos armillares, que se siguieron usando en Europa para la enseñanza de la astronomía hasta bien entrado el siglo XVIII. Una de las mejoras fue colocar un modelo de la Tierra en el centro del sistema de anillos, de modo que así el instrumento servía para ilustrar las

nociones geométricas resultantes de la concepción ptolomeica o geocéntrica del Universo (Fig. 2). También había el astrolabio plano, o planisferio, instrumento muy apreciado y perfeccionado por los árabes, que se siguió usando en la navegación hasta fines del siglo XVIII.

El primero que se apartó de la idea de un mapa esférico con las estrellas y constelaciones indicadas en su superficie fue Adam Oelschläger, o Olearius, matemático y bibliotecario de la corte del duque Federico III de Holstein-Gottorp. Bajo su dirección, Andreas Busch de Limberg construyó durante los años de 1654 a 1664 una esfera de cobre hueca, de unos 3,5 m de diámetro y 3,5 toneladas de peso (Fig. 3). La esfera estaba atravesada por un eje de metal sólido sujeto en cada extremo e inclinado en 54° 30′ con relación al horizonte, que es el valor de la latitud de Gottorp. La superficie exterior de la esfera estaba cubierta con un mapa del mundo entonces conocido, con una plataforma circular horizontal para poder examinar el mapa en detalle. En el hemisferio meridional se abría una escotilla para entrar en el interior del globo, alumbrado con dos candiles [2]. Dentro, una plataforma redonda suspendida del eje podía sostener diez espectadores y desde ella el operador hacía girar el globo lentamente por medio de una manivela que accionaba un tornillo sinfín. Al girar, aparecían una serie de estrellas doradas y de figuras de constelaciones elevándose y ocultándose detrás de un horizonte artificial; también se podía observar el cambio de la disposición de las estrellas cada mes, el movimiento diurno del Sol y la moción aparente de éste a lo largo de la eclíptica: el Sol estaba representado por una esfera de cristal que se trasladaba sobre el anillo de la eclíptica. En 1715, el aparato fue enviado como regalo al zar Pedro el Grande, quien lo cedió a la Academia de Ciencias de San Petersburgo. Según informes recientes se conserva hoy en el Museo Zoológico de Leningrado.

La segunda esfera celeste de este tipo fue la construida por Erhard Weigel. En 1654, Weigel fue nombrado catedrático de matemáticas de la Universidad de Jena y comenzó a interesarse en la construcción de artefactos mecánicos que ayudasen a popularizar la astronomía. Uno de sus globos se encuentra hoy en el museo del *Franklin Institute*, Filadelfia; tiene aproximadamente 45 cm de diámetro y una disposición de las constelaciones muy original, pues Weigel cambió las figuras tradicionales para representar en su lugar los escudos de las familias reinantes de Europa. Las estrellas están indicadas por pequeños orificios en la superficie del globo y se pueden ver las constelaciones mirando en el interior de éste por un agujero mayor.

La esfera celeste hueca más grande fue la construida por Roger Long, catedrático de astronomía en Cambridge, terminada en 1758. Tenía unos seis metros de diámetro y una inclinación correspondiente a la latitud de Cambridge, en cuyo *Pembroke College* se hallaba situada. Podía girar por medio de un torno, y las estrellas estaban representadas, como en el globo de Weigel, por agujeros de diversos tamaños abiertos en el metal. Dentro del globo había lugar para unos treinta espectadores que podían ver elevarse y declinar los astros sobre un horizonte artificial. Long esperaba que este artefacto sirviera para popularizar la astronomía, pero no fue así; poco a poco, a pesar de que su constructor donó la suma de seis libras anuales para su mantenimiento, el globo acabó por destartalarse. W. H. Smyth, refiriéndose a él en 1844 escribe «no pocos han vivido y estudiado en Cambridge sin haber tenido la menor idea de su existencia» [3].

Mayor éxito alcanzó el gran globo estelar construido en 1911 por W. W. Atwood como útil de enseñanza de los elementos de la astronomía en la Academia de Ciencias de Chicago (Fig. 4). El globo, de cinco metros de diámetro, era de una lámina delgada de hierro galvanizado y pesaba menos de 250 kg [4]. Estaba sostenido en su ecuador por tres ruedas que giraban, por medio de un pequeño motor eléctrico, alrededor de un eje formando un ángulo de 41° 50′ respecto a la horizontal. Representaban las estrellas numerosos agujeros cuidadosamente situados y graduados de tamaño. Una luz eléctrica pequeña que se trasladaba a lo largo de la eclíptica representaba el Sol. Para la Luna había varios discos cortados de forma que significasen las distintas fases, cubiertos de pintura fosforescente. También quiso Atwood representar las mociones planetarias por medio de una sucesión de orificios que se abrían y cerraban, pero este artificio no parece haber funcionado satisfactoriamente.

Después del siglo XVI, la relativa simplicidad geométrica del sistema copernicano, comparado con el ptolomeico, facilitó grandemente la construcción de modelos del sistema solar. Sin embargo, aunque era relativamente fácil construir un mecanismo que hiciera girar los planetas en órbitas circulares con una moción uniforme alrededor de un Sol central, conseguir las velocidades proporcionales de cada uno por medio de un sistema simple de engranajes planteaba considerables

FIGURA 1 – *Esfera celeste del* Atlante Farnesiano. *Reproducción en la Colección Warburg del Planetario Zeiss, Hamburgo.*

FIGURA 2 (*derecha*) – *Esfera armillar obra de Vopel* (1542), *exhibida en el Museo de Ciencias, Londres.* (Copyright *de la Corona británica.*)

FIGURA 3 – *Globo terrestre y celeste de Gottorp.*

FIGURA 4 – *Globo celeste de Atwood. Museo de la Academia de Ciencias, Chicago.*

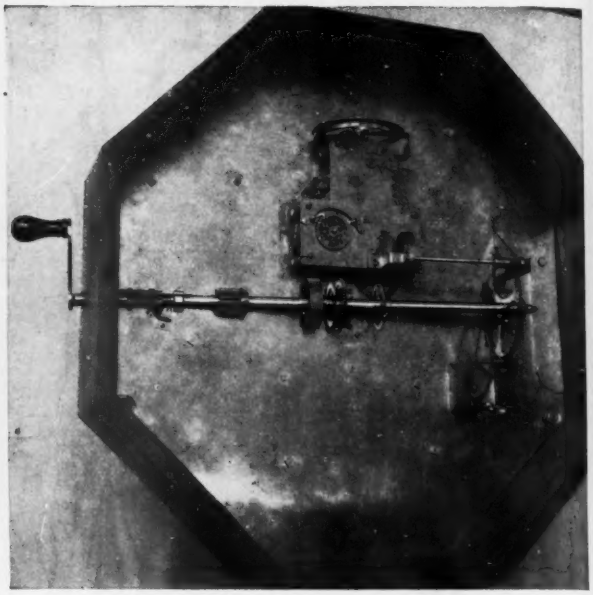
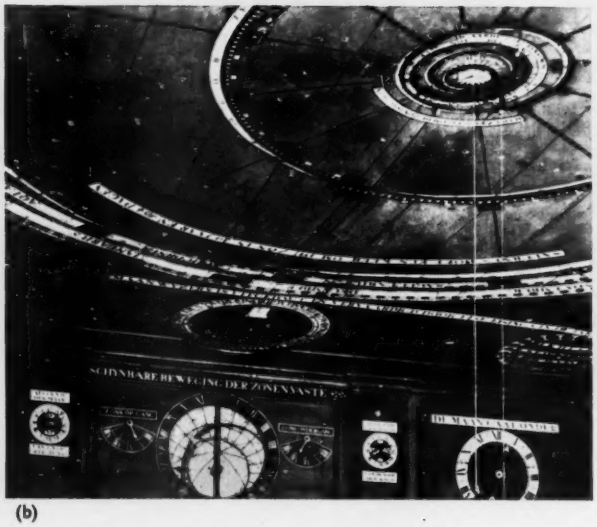
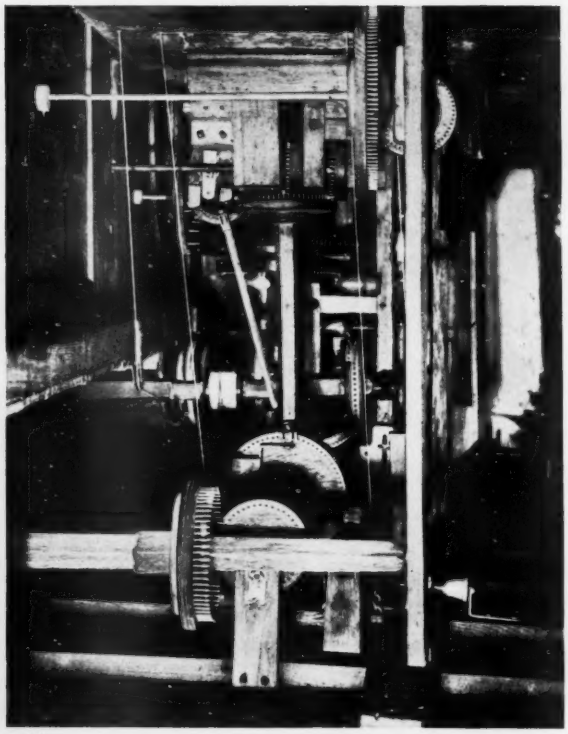


FIGURA 5 – *Planetario de Huygens en el que puede verse (izquierda) la esfera, (derecha) la maquinaria. Museo Nacional de Historia de la Ciencia, Leyden.*

(a)



(b)



(c)

FIGURA 6 – *Planetario de Eisinga, Franeker.* (a) *Conjunto;* (b) *detalle;* (c) *parte de la maquinaria.*

FIGURA 7 – *El «orrery» de Tompion y Graham. (arriba) Conjunto; (abajo) maquinaria.*

FIGURA 8 – *Esfera central del «orrery» de David Rittenhouse en la biblioteca del Princeton University.*

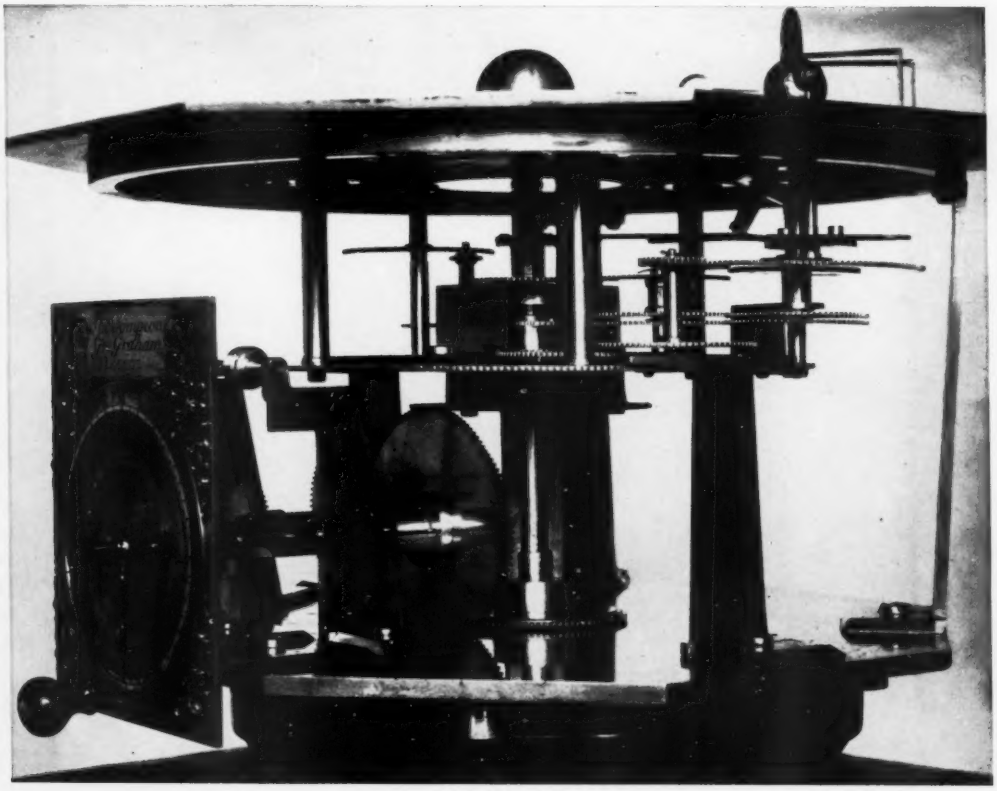


FIGURA 9 – *El «orrery» de Thomas Wright.* (Copyright *de la Corona británica.*)

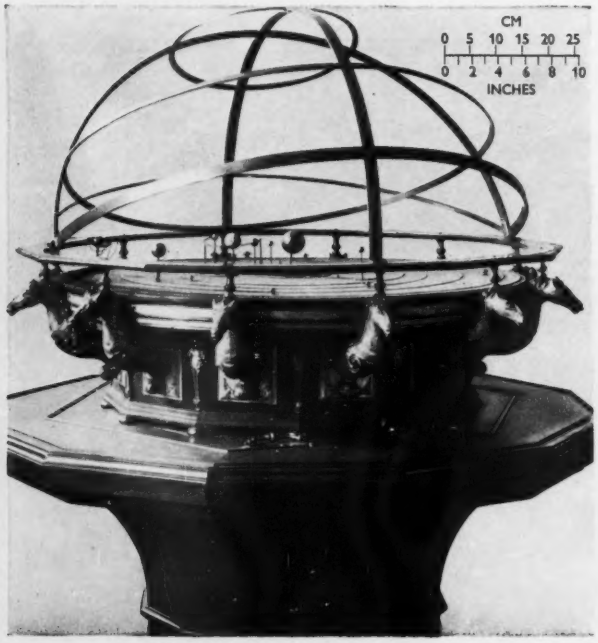


FIGURA 10 – *El gran «orrery» de Thomas Wright.* (Copyright *de la Corona británica.*)

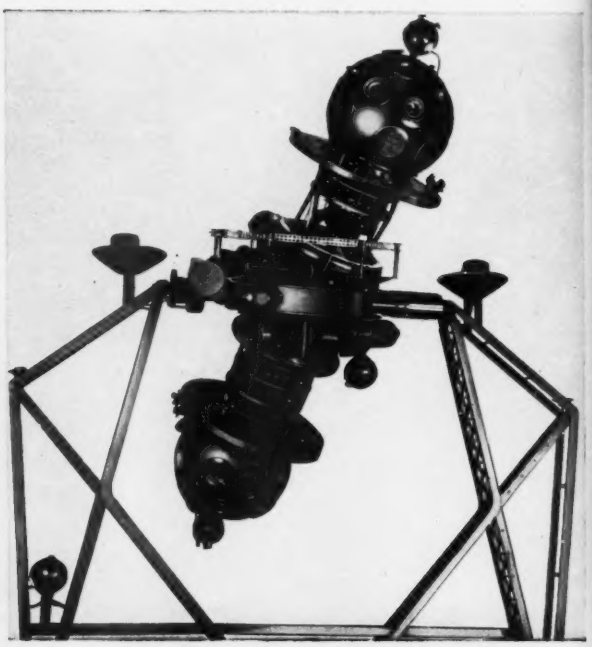


FIGURA 11 – *Ultimo tipo (latitud universal) de proyector Zeiss.*

problemas. Christiaan Huygens, físico holandés, consiguió resolver satisfactoriamente esas dificultades desarrollando para ello el principio de las fracciones continuas mediante las que pudo demostrar, por ejemplo, que el globo terrestre y el que representaba a Saturno se moverían con una velocidad respectivamente proporcionada si la rueda que movía el de la Tierra tenía 7 dientes y 206 la de Saturno. Sobre tal base, Huygens inventó un pequeño planetario movido por un mecanismo de relojería [5] con un juego de engranajes. El planetario fue construido en La Haya por Johannes van Ceulen en 1682 y es conservado hoy en el Museo Nacional de Historia de la Ciencia de Leyden (Fig. 5).

Van Ceulen montó ese mecanismo en un cajón octogonal de 65 cm de ancho y 18 de profundidad con una tapa de cobre en la que recortó seis ranuras circulares y excéntricas correspondientes a las órbitas de los seis planetas (incluyendo Saturno) por las que se movían unos ejes que sostenían el modelo de cada planeta. En teoría, éstos debían trasladarse con variables velocidades en sus órbitas elípticas, pero Huygens consiguió una solución aproximada muy ingeniosa. Aunque los planetas de su planetario se mueven uniformemente en órbitas circulares, esas órbitas son círculos excéntricos con sus respectivos centros desplazados respecto al globo solar en una magnitud apropiada, de modo que los planetas tienen una velocidad no uniforme con relación al Sol. Así, sus movimientos respectivos representan con bastante exactitud la traslación no uniforme de los verdaderos planetas.

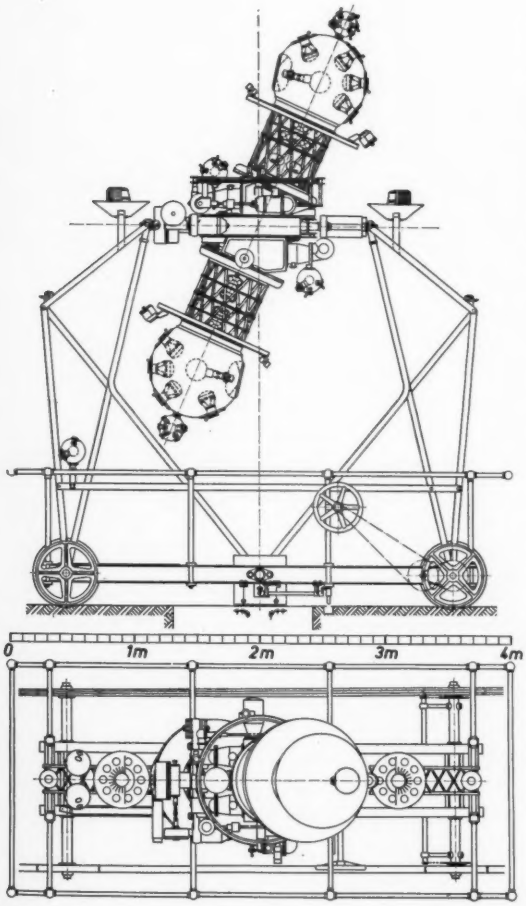


FIGURA 12 – *Diagrama del último tipo de proyector Zeiss.*

Huygens no fue el único que en esta época se interesó en la construcción de planetarios. En 1679, el astrónomo dinamarqués Ole Rømer envió a John Flamsteed detalles de una máquina que indicaba los movimientos relativos de cuatro satélites de Júpiter. En Inglaterra, Richard Cumberland, más tarde Obispo de Peterborough, y Stephen Hales, de Oxford, construyeron sencillos modelos móviles del sistema Tierra-Luna. Sin embargo, el triunfo mayor fue el de George Graham, quien construyó un modelo móvil completo de dicho sistema, en el cual la Luna giraba alrededor de la Tierra y ésta alrededor del Sol mientras satélite y planeta rotaban sobre su respectivo eje.

Durante muchos años Graham trabajó con el famoso relojero Thomas Tompion, llegando a ser el más buscado constructor de instrumentos científicos de Londres. El modelo a que nos hemos referido parece haber sido construido entre 1704 y 1709 y era, en toda probabilidad, idéntico al que, obra también de Tompion y Graham, se exhibe hoy en el Museo de Historia de la Ciencia, en Oxford [6] (Fig. 7). Según un escritor [7], Graham entregó su planetario a John Rowley para que lo embalara y enviara al Principe Eugenio de Saboya; Rowley hizo varias copias de la máquina, probablemente con el consentimiento de Graham, y envió una de ellas a Charles Boyle, cuarto Earl de Orrery, lo que explica que estos aparatos, cuya invención se atribuyó a Rowley, se conocieran más tarde con el nombre de «orreries». El instrumento enviado a Boyle es hoy propiedad del actual Almirante, el Earl de Cork y Orrery, quien lo tiene depositado en la *Royal United Service Institution*, en Whitehall, Londres. El mecanismo está encerrado en un tambor de madera de 75 cm de diámetro y 23 de profundidad; justo encima del

tambor, sostenido por doce columnitas doradas, está el anillo de la eclíptica. El sistema Tierra-Luna está dentro de un tambor más pequeño cubierto con un cristal que, con toda la plancha exterior, gira alrededor de la esfera central que representa el Sol.

Los «orreries» de Rowley fueron muy apreciados, como obras de arte y curiosidades científicas, siendo muy pronto imitados por otros fabricantes londinenses de instrumentos. El más notable de ellos en este respecto fue Thomas Wright, cuyo taller se llamaba *The Orrery and Globe* y estaba situado en Fleet Street. Wright introdujo lo que más tarde se llamó un «Gran Orrery», instrumento que realizaba los movimientos de la Tierra, la Luna y los otros cinco planetas conocidos (Fig. 10). Uno de estos aparatos, construido en 1733 e instalado en el Observatorio Real de Richmond, parece haber costado la suma de 1500 libras. Más tarde, en 1841, fue transportado al *King's College*, Cambridge, y hoy se encuentra en depósito en el Museo de Ciencias de Londres. Sucedió a Wright en estas tareas Benjamin Cole y su hijo, y más tarde Edward Troughton [8]. También construyeron «orreries» durante este período (1730 a 1830) el astrónomo escocés James Ferguson y los fabricantes londinenses de instrumentos Benjamin Martin, George Adams, Heath y Wing, y W. y S. Jones.

El primer «orrery» construido en América lo fue en 1770 por David Rittenhouse, horólogo y astrónomo de Norriton, Pennsylvania. Rittenhouse fue el primero que hizo moverse a los planetas en órbitas elípticas, con lo que consiguió representar dichas mociones de manera más exacta. Su modelo estaba montado verticalmente en una vitrina muy elegante dividida en tres secciones. La parte central, de un metro cuadrado aproximadamente, contenía un modelo móvil del sistema solar, que funcionaba por medio de una manivela. Una de las secciones laterales mostraba las mociones de los satélites de Júpiter y Saturno entonces conocidos; la otra contenía modelos del Sol, Luna y Tierra y servía para mostrar los eclipses, las fases de la Luna y la moción aparente del Sol a lo largo de la eclíptica.

En 1771, Rittenhouse vendió su instrumento por 220 libras al *College of New Jersey*, de Princeton. Hacia esa fecha se había trasladado a Filadelfia, donde terminó otro instrumento parecido al anterior. Este fue adquirido por el Colegio de Filadelfia y se encuentra hoy en la Biblioteca de la Universidad de Princeton (Fig. 8). Durante la Guerra de la Independencia, las tropas averiaron la primera máquina, que fue más tarde reparada por Henry Voigt, ayudante de Rittenhouse [9]. Este instrumento despertó gran interés cuando se expuso en la Feria Mundial de Chicago en 1893, y hoy se encuentra en la Universidad de Princeton.

El «orrery» o planetario copernicano más grande construido antes de nuestro siglo fue obra de Eise Eisinga, cardador de lana en Franeker, cerca de Leeuwarden, Frislandia occidental [10]. Comenzó a construirlo en 1774 y en 1781 estaba ya terminado y funcionando. El mecanismo, movido por pesas y regulado por un péndulo, consiste de engranajes a base de discos de roble y aros metálicos con dientes. Está oculto en el falso techo de una cámara, de modo que el planetario se encuentra sobre la cabeza del observador (Fig. 6), el cual al mirar al techo puede ver los planetas en sus posiciones relativas, según una escala de $1 : 10^{12}$. Cada planeta va movido por un eje que se traslada a lo largo de su órbita (circular y excéntrica) recortada en el falso techo. Los globos cumplen su traslación en los períodos naturales de los planetas, de modo que el de Saturno tarda casi 29 años y medio en completar su giro alrededor del Sol. La Tierra va acompañada por la Luna, que gira alrededor de aquélla una vez al mes. Júpiter tiene cuatro satélites, Saturno, cinco y su anillo; pero ninguno de ellos tiene movimientos independientes. La eclíptica está representada por una banda graduada fijada en el exterior de la ranura de Saturno y con la misma excentricidad que la órbita terrestre. El puntero que señala a esa banda representa la moción aparente del Sol y muestra la posición de éste en el zodíaco.

Sobre la cama se hallan las esferas que indican la longitud y fase de la Luna, así como la posición de su apogeo y nodo ascendente. En otras se muestra el año, día y hora, y el horario de la salida y puesta del Sol, todos ellos engranados por medio de un ingenioso dispositivo a un mapa celeste móvil que indica qué estrellas se encuentran sobre el horizonte de Franeker en el momento de la observación. En 1825 el Estado adquirió el planetario y nombró curador del mismo a Eisinga, después de cuya muerte la casa y el planetario fueron donados a la ciudad por el rey Guillermo III. El mecanismo se ha mantenido en perfecto estado desde entonces.

Sin duda alguna, el planetario copernicano más grande e imponente es el del *Deutsches Museum* de Munich. Fue construido hacia 1920 por la Fundación Zeiss, de Jena, a base de diseños de Franz Meyer, ingeniero jefe de los Talleres Zeiss [11]. Los raíles elípticos de hierro que corresponden

a las órbitas de los seis planetas están montados en el techo de una sala cilíndrica de unos 12 metros de diámetro y unos 3 de altura. Los globos que representan los planetas se deslizan a lo largo de los raíles gracias a unos motores eléctricos. Cuando la sala queda en la oscuridad, el observador ve los planetas iluminados por la luz que emana del globo central — el Sol — así como los movimientos de aquéllos y sus satélites, en una escala de tiempo de 12 minutos = 1 año. Hay además una pequeña plataforma que se traslada por la sala de modo que se halle directamente debajo del globo de la Tierra; a esa plataforma hay acoplado un periscopio gran angular que, enfocado hacia cualquiera de los planetas, permite observar su movimiento geocéntrico aparente con relación a las principales estrellas zodiacales, que están representadas por diminutas luces insertas en el muro de la sala. Otros planetarios del mismo tipo, pero de tamaño más reducido, se encuentran en el *Hayden Museum Planetarium*, de Nueva York y en el *Morehead Planetarium* de Chapel Hill, Carolina.

El Dr. Oskar von Miller, Director del Museo de Munich había pedido a la Fundación Zeiss que fabricara un instrumento aún más completo que pudiera mostrar los movimientos de los planetas en el firmamento según puede verlos un observador desde la Tierra. Para ello, el Dr. Walther Bauersfeld, de la casa Zeiss, abandonó el principio de la transmisión mecánica del movimiento a los globos para utilizar el de los proyectores ópticos móviles. Ya en 1919 había construido un amplio hemisferio fijo cuya superficie interna servía de pantalla sobre la que proyectaban puntos de luz numerosos proyectores situados en su centro; haciendo girar esos proyectores, individualmente o en grupos, las imágenes del Sol, Luna, planetas y estrellas aparecían sobre la bóveda describiendo sus órbitas aparentes [12].

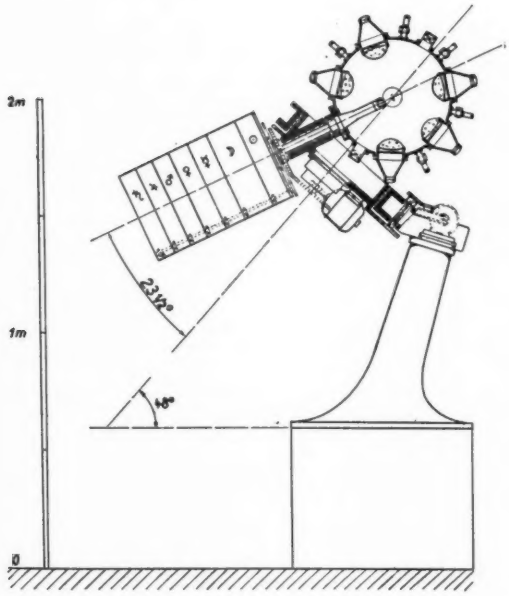


FIGURA 13 – *Diagrama del primer tipo (latitud fija) de proyector Zeiss.*

Después de cinco años de intensos trabajos, el complicadísimo proyector era una realidad; su funcionamiento resultó altamente satisfactorio, y enseguida alcanzó enorme éxito. En mayo de 1925, el instrumento quedó instalado en el *Deutsches Museum* de Munich, donde aún funciona. Se instaló también otro aparato, idéntico al primero, en Düsseldorf, en 1926, siendo luego trasladado a Liegnitz y en 1934 al planetario de La Haya, donde se encuentra hoy.

Las imágenes de los astros producidas por los dos primeros instrumentos Zeiss están proyectadas por 31 sistemas ópticos distribuidos en un globo de 50 cm con una lámpara de 200 vatios en su centro (Fig. 13). Unido al globo y en rotación con él hay un cilindro perforado que contiene proyectores móviles para el Sol, Luna y los cinco planetas visibles; esos proyectores se hallan sincronizados por un sistema de engranajes de tal manera que mientras el Sol describe un círculo completo alrededor de la eclíptica en un período que puede variar de muy pocos segundos a bastantes minutos, las imágenes de la Luna y planetas recorren las trayectorias respectivas de sus mociones geocéntricas, describiendo contra el fondo del estrellado firmamento curiosas contradanzas.

Los dos primeros proyectores Zeiss tienen el inconveniente de que muestran la configuración del firmamento sólo desde una latitud dada. En 1924, el Dr. Villiger, también de Zeiss, introdujo una importante modificación con la que se consigue proyectar la configuración de cualquier latitud [13]. En este caso, los proyectores están agrupados de tal modo que forman una «batería» de unos cuatro metros de largo, con la forma de unas «pesas» de atleta (Figs. 11, 12). Las «bolas» son dos globos que proyectan conjuntamente unas 8900 estrellas, correspondientes a las fijas de los hemisferios norte y sur. Los proyectores del Sol, Luna y planetas están ubicados en la «barra» que une las «bolas». Mediante el apropiado movimiento de este mecanismo se puede proyectar sobre la bóveda la configuración astronómica

vista desde cualquier lugar de la Tierra en cualquier momento del tiempo pasado, presente o futuro.

Existen hoy repartidos por todo el mundo 17 planetarios Zeiss de este tipo; Roma montó el suyo en 1928 y Moscú en 1929; entre 1925 y 1928 se instalaron diez en ciudades importantes de Alemania y Austria, pero hoy no funcionan ya o han sido destruidos. En los Estados Unidos, el primer firmamento artificial se abrió al público en mayo de 1930 en al *Adler Planetarium* de Chicago. Su gran éxito condujo a la instalación de otros en Filadelfia (1933), Los Angeles y Nueva York (1935), Pittsburgh (1939) y Chapel Hill (1940). También hay planetarios Zeiss en funcionamiento en Milán, Bruselas, Osaka, París, Tokío y São Paulo. La más reciente adición es el planetario de Londres, abierto al público el 20 de marzo de 1958, que es el primero en gran escala instalado en la Comunidad Británica de Naciones [14]. El instrumento Zeiss de Londres pertenece a una nueva serie fabricada por los Talleres Zeiss en Oberkochen, Alemania Occidental; existen otros aparatos similares en los planetarios de Tokío, São Paulo y Hamburgo.

No todos los planetarios por proyección hacen uso de instrumentos Zeiss. En 1935, F. D. Korkosz, técnico del Museo de Historia Natural de Springfield, Mass., terminó la construcción de un globo-proyector de estrellas de 1,25 m de diámetro en el que numerosas lentes proyectaban imágenes de las estrellas sobre una bóveda hemisférica [15]. En 1952, el personal técnico de la Academia de Ciencias de California terminó un proyector del tipo Zeiss que hoy está instalado en el Planetario «Alexander F. Morrison» de San Francisco [16].

Por lo menos en los Estados Unidos, el mayor número de planetarios por proyección proceden de los Laboratorios Spitz, de Yorklyn, Delaware. Estos instrumentos varían en tamaño desde los modelos reducidos de mesa hasta los grandes proyectores en los que hay incorporadas numerosas características de los modelos Zeiss y que tienen también la forma de «pesas». El aparato se cuelga por medio de unos cables finos de la bóveda de proyección, procedimiento que reduce al mínimo los obstáculos que a la proyección de imágenes pueden oponer los miembros de soporte. Las estrellas de menor magnitud se proyectan a través de 3083 agujeros de alfiler distribuidos en los dos globos, en el interior de los cuales hay arcos voltaicos de zirconio. Las 54 estrellas más brillantes resultan de la proyección a través de sistemas de lentes individuales; la imagen de Sirio — la estrella más luminosa — tiene unos 3 cm de diámetro sobre una bóveda de 20 metros. En 1954 se instaló un gran instrumento Spitz en el Planetario Municipal de Montevideo [17]; recientemente se han montado otros del mismo tipo en los planetarios de Flint, Michigan, y Colorado Springs.

El planetario por proyección es hoy, por consiguiente, un instrumento sin rival como medio instructivo y como atracción cultural; además, su extraordinaria complejidad, versatilidad y exactitud hacen de este aparato una de las obras maestras de la moderna ingeniería óptica.

Agradecemos a Dr. H. Werner, de la Casa Zeiss, Oberkochen, el permiso para publicar las Figs. 1, 3, 4, 8, 11 y 13. Asimismo a P. van der Star, del Museo Nacional de Historia de la Ciencia de Leyden, por la información técnica suministrada y las fotografías del planetario de Huygens (Fig. 5).

REFERENCIAS

[1] Ciceron, *De Republica*, Tomo 1, Cap. xiv.
[2] Stevenson, E. L. *Terrestrial and Celestial Globes*, pág. 73. Yale University Press, New Haven. 1921.
[3] Smyth, W. H. *A Cycle of Celestial Objects*, II, 179. J. W. Parker, Londres. 1844.
[4] Atwood, W. W. *Sky*, **2**, No. 6, 12, 1938.
[5] Crommelin, C. A. *Antiqu. Horol.* Marzo 1955.
[6] Gabb, G. H. y Taylor, F. Sherwood. *Connoisseur*, **122**, 24, 1948.
[7] Desaguliers, J. T. *A Course of Experimental Philosophy*. Londres. 1734.
[8] *At the Sign of the Orrery*. Cooke, Troughton and Simms Ltd., York. (Sin fecha).
[9] Gillingham, H. E. *J. Franklin Inst.*, **229**, 81, 1940.
[10] Sixma, H. *Pop. Astr.*, **42**, 489, 1934.
[11] Meyer, F. A. *Z. Ver. dtsch. Ing.*, **69**, 1425, 1925.
[12] Werner, H. *From the Aratus Globe to the Zeiss Planetarium*. Traducido por A. G. Degenhardt. Gustav Fischer, Stuttgart. 1957.
[13] Villiger, W. *The Zeiss Planetarium*. W. and G. Foyle, Londres. 1926.
[14] King, H. C. *Observatory*, **78**, 69, 1958.
[15] *New Planetarium, Sky*, **2**, No. 2, 15, 1937.
[16] Miller, R. C. (Compilador). *The story of the Alexander F. Morrison Planetarium*. (Sin fecha.)
[17] Coles, R. R. *Sky and Teles.*, **13**, 292, 1954.

Las «asociaciones» estelares

V. A. AMBARTSUMYAN

Algunos de los principales problemas de la astronomía se refieren a las edades de las estrellas y a los procesos de formación estelar, incluyendo la cuestión de si las estrellas están todavía en proceso de creación. El descubrimiento y estudio de las llamadas asociaciones de estrellas ha proporcionado notables pruebas que, junto con las obtenidas por el estudio de otros grupos, forman el tema de este artículo.

Los astrónomos han dedicado recientemente mucha atención al estudio de las diferencias de edad entre las estrellas. Gran parte de los resultados se han obtenido gracias al reciente descubrimiento y estudio de un nuevo tipo de sistema estelar; las «asociaciones» de estrellas. Más aún, puede afirmarse que tales investigaciones han hecho posible por primera vez afirmar concretamente que la formación de las estrellas en nuestro sistema estelar — la Galaxia — es un proceso actual. Por comparación con el número de «asociaciones» estelares en otras galaxias de diferentes tipos podemos sacar conclusiones acerca de la intensidad relativa de formación de estrellas en aquéllas.

Las «asociaciones» estelares forman parte de la estructura de una galaxia, y son similares a los «grupos abiertos» de estrellas, conocidos hace ya mucho. De estos grupos abiertos puede obtenerse alguna información relativa a las edades de las estrellas y a los procesos de su formación.

La observación muestra que nuestra Galaxia comprende grupos de estrellas en los que la densidad estelar es mayor que en el fondo general de estrellas en torno a ellos. Cada uno de tales grupos efectúa en conjunto un movimiento en torno al centro de la Galaxia, como el del Sol y otras estrellas sencillas o múltiples. Estos conjuntos se llaman agrupaciones estelares. Cualquier estrella perteneciente al conjunto participa en el movimiento general del grupo en torno al centro de la Galaxia y también efectúa algún movimiento alrededor del centro de gravedad del grupo. En este sentido las agrupaciones estelares son similares a las estrellas dobles y múltiples.

Las agrupaciones estelares son de dos tipos: algunas contienen hasta decenas de miles de miembros; son las agrupaciones globulares. Su estructura muestra una simetría casi geométrica, aunque no siempre esférica precisamente. Las agrupaciones globulares se hallan tanto cerca del plano galáctico como a grandes distancias de él.

Otros grupos no tienen una forma regular, y son mucho menos abundantes en estrellas. Contienen decenas, cientos y a veces miles de estrellas y solamente se encuentran cerca del plano de la Vía Láctea. Tales grupos se llaman abiertos o galácticos. Son ejemplos las Pléyadas y las Híadas, visibles sin instrumentos. Uno de los objetos más hermosos que puede verse con un telescopio pequeño es la agrupación doble de Perseo, que dista unos 6000 años-luz.

Las agrupaciones globulares y abiertas se diferencian también por la composición y naturaleza de los astros componentes. Las agrupaciones abiertas contienen generalmente algunas gigantes azules, estrellas que tienen a la vez gran luminosidad y temperatura. Las agrupaciones globulares no contienen gigantes azules pero sí siempre gigantes rojas, estrellas de menor temperatura y radio muy grande.

Por medio de cálculos sabemos que los miembros de un grupo estelar se mantienen en él por efecto de sus atracciones mutuas, según la ley de Newton. Si cada grupo estuviese aislado, los procesos que ocurrieran en él estarían regidos enteramente por dichas fuerzas. Sin embargo, B. J. Bok en 1934 señaló que las estrellas de la Galaxia, en general, pueden pasar cerca o a través de un grupo, con velocidades mucho mayores que de los miembros de éste con respecto a su centro de gravedad. Cederán pues algo de su energía al grupo, con lo que aumenta la energía de éste y también sus dimensiones. Tras varios pasos de éstos, las estrellas del grupo pueden adquirir velocidades suficientes para separarse entre sí, disgregándose de tal modo el grupo.

Se sabe que este medio de fraccionarse el grupo carece de importancia para los globulares, cuya densidad es grande, por lo que su rotura exige una gran cantidad de energía aportada desde fuera. Sin embargo, el proceso indicado por

Bok debe ser muy eficaz con respecto a numerosos grupos abiertos, cuya densidad es pequeña, de modo que la interacción gravitatoria es débil entre sus componentes. La disgregación por este proceso de agrupaciones abiertas sucede en un lapso de miles de millones de años, del orden de la vida de las estrellas.

En 1937 nosotros demostramos que existe otro proceso de disgregación, el más efectivo en la mayoría de los casos. Actúa incluso en las agrupaciones abiertas en las que la densidad estelar es relativamente grande. Es el siguiente: el movimiento de las estrellas en el grupo hace que se acerquen entre sí (intercambiándose energía) lo suficiente para que en algún caso venza la estrella el campo gravitatorio y abandone la agrupación. La repetición del proceso reduce el número de estrellas del grupo, que se convierte gradualmente en una estrella múltiple ordinaria.

Así se disgregan algunas agrupaciones en un tiempo del orden de mil millones de años o menos. El hecho de que todavía se observen tales grupos prueba que su edad no puede exceder de ese tiempo, siendo por ello mucho más jóvenes que el promedio de las estrellas de la Galaxia.

Tiene mucha importancia el hecho de que el proceso inverso, la formación de agrupaciones a partir de estrellas independientes, es prácticamente imposible. En otras palabras: la disgregación de agrupaciones en la Galaxia es un proceso unilateral.

Si la agrupación no puede haberse formado con estrellas aisladas ya existentes, resulta que el proceso de formación debe ser también aquél que origina las propias estrellas. La conclusión es que las estrellas pueden haberse originado en grupos. También se advierte que distintas agrupaciones abiertas son de diferente edad, lo que indica que muchas agrupaciones se formaron cuando ya existía la Galaxia.

Cuando se llegó a estas conclusiones no se había comprobado su trascendencia respecto al problema general del origen estelar. Parecía que atañían sólo a las estrellas de las agrupaciones que forman únicamente una pequeña porción del total de estrellas en la Galaxia.

Sin embargo, por entonces se efectuaban investigaciones estadísticas en estrellas dobles, que son una muy gran parte del total de estrellas galácticas. Tales investigaciones demostraron que los componentes de cada estrella doble tenían un origen común, o sea que éstas no habían surgido por el apareamiento de estrellas aisladas procedentes de la población galáctica general.

El profundo significado de todos estos resultados se apreció más tarde, cuando inmediatamente después de la segunda guerra mundial se descubrieron las «asociaciones» de estrellas.

LAS «ASOCIACIONES» ESTELARES

Como hemos visto, las agrupaciones abiertas tienen una densidad estelar superior a la del espacio en torno, y aunque es mucho menor que en las agrupaciones globulares, ofrecen una notable concentración de estrellas si se las compara con los campos estelares galácticos a su alrededor. Las «asociaciones» estelares son grupos de estrellas en los que la densidad estelar es menor que la del fondo de estrellas próximo. Esto no significa que las asociaciones de estrellas sean «enrarecimientos» en la Galaxia. Las estrellas circundantes que no pertenecen a una asociación determinada penetran libremente en el volumen correspondiente a ésta y así la densidad estelar total en dicho volumen es mayor, no menor, que en el espacio alrededor. Sin embargo, al hablar de densidad de la asociación prescindimos de la densidad aportada por las estrellas que no pertenecen a la asociación y sólo consideramos las estrellas agrupadas. Tal densidad es muy pequeña, y en ese sentido las asociaciones estelares son grupos extremadamente enrarecidos.

El contraste en el reparto de densidades disminuye al proyectar sobre la esfera celeste. Si en la zona de la asociación la densidad espacial es solamente un poco mayor que en las inmediaciones, cuando observamos la proyección sobre la esfera celeste resulta completamente despreciable la diferencia de densidades entre la asociación y sus cercanías. Por ello resultaría imposible descubrir asociaciones estudiando en conjunto la distribución aparente de las estrellas, mientras que las agrupaciones ordinarias de estrellas aparecen en los mapas y fotografías estelares de este modo.

La característica más saliente de las asociaciones estelares es que la inmensa mayoría de las estrellas que las constituyen tienen particularidades físicas similares. Así, los componentes de las asociaciones se hallan sobre todo en determinados estados físicos; ello ha permitido precisamente el descubrimiento de las asociaciones en nuestra Galaxia.

Las asociaciones estelares pueden clasificarse así: las asociaciones O, con un gran número de gigantes calientes (esto es estrellas de los tipos espectrales O y B) y otros cuerpos en número relativamente pequeño; y las asociaciones T, con estrellas enanas frías, muchas de las cuales muestran variaciones irregulares de su brillo.

Si trazamos un mapa del cielo representando sólo las gigantes azules (estrellas de los tipos O y B), las asociaciones O se aprecían inmediatamente como concentraciones de estrellas, debido a que tales asociaciones representan zonas muy densas respecto a la distribución de las gigantes azules solas.

Igualmente, si se incluyen en el mapa las variables irregulares conocidas de pequeña luminosidad (llamadas variables del tipo de RW del Cochero), encontramos que la gran mayoría de ellas se hallan concentradas en ciertas regiones del cielo. Así las asociaciones del tipo T son concentraciones muy marcadas en la distribución de densidades de estas estrellas variables, consideradas solas.

No obstante, puesto que todas las gigantes azules y todas las variables irregulares del tipo de RW del Cochero, constituyen sólo una pequeña parte del total de estrellas, las asociaciones son casi imperceptibles en los mapas y en fotografías directas que representen la distribución estelar total.

Sin embargo, algunas asociaciones del tipo O muy alejadas del plano galáctico y relativamente cercanas a la Tierra, se notarán como grupos de estrellas de gran luminosidad aparente incluso con respecto al fondo estelar general de las estrellas, puesto que en aquellas partes del cielo hay pocas estrellas gigantes. Un ejemplo es la densa asociación en Orión, que incluye las brillantes estrellas del tahalí de Orión y otras igualmente luminosas.

La dificultad de apreciar directamente las asociaciones del tipo O se debe a que otras muchas estrellas de poca luminosidad pero relativamente próximas tienen casi el mismo brillo aparente que las gigantes en las asociaciones. El caso es completamente distinto cuando observamos otras galaxias, cuyas estrellas podemos suponer se hallan a la misma distancia de nosotros, y por ello las estrellas brillantes, sobre todo las gigantes y supergigantes, destacarán del resto debido a su gran luminosidad aparente. Las asociaciones del tipo O que contienen gigantes calientes aparecerán como amplios grupos de estrellas brillantes. Se han observado muchos grupos así, como por ejemplo en la Gran Nebulosa de Magallanes, y también en la Nebulosa Menor de Magallanes, pero no tan distintamente puesto que la luminosidad de las estrellas más brillantes en las asociaciones es quizá más pequeña en la Menor que en la Gran Nebulosa de Magallanes. También se manifiestan las asociaciones del tipo O en la galaxia M33 y en la galaxia irregular IC1613.

En una galaxia remota donde las asociaciones estelares no pueden resolverse en sus componentes, las del tipo O pueden aparecer como concentraciones distinguibles por su color, más azulado que el del resto de la galaxia.

Las asociaciones del tipo O no se encuentran en las galaxias elípticas y son relativamente escasas en las del tipo Sa, donde no son tan aparentes, pero abundan bastante en el tipo de galaxias espirales lejanas e irregulares. Estos hechos son de gran interés. Las asociaciones están íntimamente relacionadas con la estructura en espiral de las galaxias; en todas éstas se hallan entre sus ramas y tal relación entre las asociaciones del tipo O y las ramas de la espiral tienen un profundo significado cosmogónico. Las asociaciones del tipo T no pueden observarse en otras galaxias puesto que consisten en estrellas de muy pequeña luminosidad, pero tenemos cierta idea de su existencia en varios tipos de galaxias por el hecho de que en muchos casos están relacionadas con las nubes de polvillo cósmico. De aquí, por ejemplo, podemos deducir que no las habrá en las galaxias elípticas, puesto que en éstas no existen nebulosas obscuras importantes.

TAMAÑO Y ESTRUCTURA DE LAS «ASOCIACIONES» ESTELARES

Ya se ha dicho que la densidad media de las asociaciones del tipo O era mucho menor que la de las agrupaciones abiertas. Por otra parte sus dimensiones superan a las de éstas en uno o uno y medio órdenes de magnitud. Los mayores diámetros de las agrupaciones abiertas están entre 2 y 8 parsec[1] (ps), mientras que las dimensiones de las asociaciones del tipo O están generalmente entre 30 y 200 ps. En otras galaxias se observan asociaciones todavía mayores.

Una asociación del tipo O contiene ordinariamente uno o más grupos abiertos. Por ejemplo, la agrupación de Orión contiene una de ellas en la proximidad del Trapecio. La asociación denominada Perseo I contiene la agrupación doble h y χ de Perseo, ya citada, y otras. Las agrupaciones que se hallan en asociaciones contienen generalmente, entre otras, estrellas calientes del tipo O o Bo; según la clasificación del Observatorio de Byurakan se denominan grupos del tipo O. Las asociaciones del tipo O contienen, además de las agrupaciones, otros conjuntos de

[1] El parsec es una unidad en astronomía: distancia a la cual el radio de la órbita terrestre subtiende un ángulo de un segundo de arco. Equivale a 3,26 años-luz o $30{,}8 \times 10^{12}$ km.

estrellas, principalmente sistemas múltiples del tipo representado por el Trapecio de Orión. Tales sistemas incluyen tres estrellas A, B y C, cuyas distancias entre sí son del mismo orden de magnitud; estos sistemas son muy inestables y por tanto deben de ser muy jóvenes. Debe notarse que la mayoría (casi el 90%) de las estrellas múltiples conocidas no tienen esta propiedad. De aquí el que los sistemas del tipo del Trapecio se encuentren principalmente en asociaciones tenga gran importancia. Otro ejemplo es la estrella múltiple σ de Orión en la asociación de este nombre. Su estrella principal es del tipo O9, mientras que los otros cuatro componentes son del tipo B. El mismo Trapecio es también un miembro de la asociación de Orión; está en el centro de la agrupación abierta mencionada antes. Otro ejemplo de conjuntos de estrellas hallados en asociaciones los proporcionan las hileras de estrellas, como la del Tahalí de Orión formado por supergigantes del tipo O9 y Bo.

Los complejos apretados que aparecen en las asociaciones (por ejemplo, agrupaciones, trapecios e hileras) son llamados generalmente los «núcleos» de la asociación. Así, cada asociación del tipo O puede tener uno o más núcleos.

Además de los núcleos y estrellas individuales, las asociaciones del tipo O contienen ordinariamente nebulosas gaseosas cuya radiación se debe a las estrellas calientes que pertenecen a la asociación. En algunos casos la nebulosa gaseosa está situada de tal modo que no cabe duda de su relación genética con uno de los núcleos. Por ejemplo, la famosa nebulosa de Orión NGC 1976, que se encuentra en la asociación de ese nombre, está íntimamente relacionada con el Trapecio y la agrupación circundante. Otra nebulosa envuelve al sistema σ de Orión del tipo de Trapecio. Además, según Menon, la asociación de Orión contiene cantidades muy grandes de hidrógeno sin ionizar, que emite la señal o línea de radio de 21 cm de longitud de onda. Sólamente en un caso, la asociación 1 de Perseo, no se ha observado la nebulosa radiante; y las observaciones hechas con radio no muestran la radiación del hidrógeno neutro.

La característica más sorprendente de las asociaciones del tipo T es su íntima relación con las nebulosas obscuras. Los miembros de estas asociaciones se hallan inmersos en tales nebulosas, impidiendo el estudio de la distribución de estrellas en las asociaciones tipo T, puesto que la luz de muchos de sus miembros es absorbida por la nebulosa. Sin embargo, los datos conocidos indican que las asociaciones T contienen concentraciones separadas de estrellas, similares a los núcleos de las asociaciones del tipo O.

Las asociaciones del tipo T contienen variables irregulares del tipo RW del Cochero, como dijimos. En efecto, muchos miembros de las asociaciones T fueron descubiertos por las líneas brillantes de su espectro, puesto que contenían estrellas con espectro del mismo tipo que la T del Toro, variable que sirve de prototipo. No obstante, todas las variables como RW del Cochero no son estrellas del tipo de la T del Toro, a pesar de que todas éstas, aparentemente, son variables irregulares del tipo de RW del Cochero.

Surge la cuestión de si las asociaciones tipo T contienen enanas de brillo constante, así como las variables del tipo de RW del Cochero. Por desgracia ésta es una cuestión difícil de resolver puesto que las enanas de brillo constante pertenecientes a las asociaciones del tipo T no podrían distinguirse de la multitud de enanas similares pertenecientes a la población estelar general. Esto impide el estudio de la estructura de las asociaciones del tipo T, cuyas dimensiones se hallan entre varios parsecs y un centenar de ellos. En ciertos casos hay grupos bastante apiñados, en otros están enrarecidos y son menos densos que los grupos próximos a ellos.

LA INESTABILIDAD DE LAS «ASOCIACIONES»

Cada sistema estelar en la Galaxia, incluyendo los grupos y las asociaciones, está sujeto a fuerzas rítmicas debidas al campo gravitatorio general de aquélla. Estas fuerzas tienden a romper el sistema y a que sus miembros (las estrellas en este caso) se muevan en órbitas independientes en torno al centro de la Galaxia. Si la densidad del sistema es grande, la interacción gravitatoria entre sus miembros es fuerte y las fuerzas rítmicas son incapaces de romper el sistema. La densidad límite por debajo de la cual el sistema queda destruido por las fuerzas rítmicas es del mismo orden de magnitud que la densidad media de la población estelar galáctica.

Puesto que la densidad de los grupos abiertos supera notablemente a la de la población galáctica, las fuerzas rítmicas no pueden destruir rápidamente un grupo. Por otra parte hemos visto que las asociaciones tienen una densidad inferior a este valor crítico y por ello deben ser destruidas por las fuerzas rítmicas tan pronto como aquéllas se formen. El tiempo necesario para este proceso es del orden de 10^7 años, deduciéndose que la edad de las asociaciones

estelares es del orden de 10^6 años y, en algunos casos, menos aún.

Puesto que el promedio de edad de las estrellas en la Galaxia es del orden de miles de millones de años, y como las asociaciones no pueden formarse a partir de estrellas independientes previamente existentes, hemos de concluir que la formación de las estrellas en la Galaxia se está efectuando todavía.

Puede mostrarse que cuando una asociación se rompe por las fuerzas rítmicas, su disrupción final está precedida por la adopción de una forma muy alargada. Sin embargo, numerosas asociaciones de tamaño considerable son casi esféricas, como por ejemplo la I de Perseo. La única explicación de esto sería que las estrellas de cada una de dichas asociaciones fueran proyectadas desde la región central en el momento de su formación, con velocidades del orden de decenas de km/sec. Este valor se deduce teóricamente a partir del tamaño de las asociaciones.

En 1952, el astrónomo holandés A. Blaauw, en el estudio de los movimientos estelares en la asociación II de Perseo encontró que las estrellas estaban alejándose del centro de aquélla con una velocidad media de casi 12 km/sec, confirmándose así la conclusión principal de la teoría de las asociaciones estelares. Después, estudiando los movimientos propios de las estrellas en ellas se observó el fenómeno de la expansión en las asociaciones del tipo O: II de Cefeo, Lagarto y otras.

La prueba de esta dilatación fue a su vez una comprobación de que los miembros de las asociaciones eran estrellas jóvenes, e hizo posible una determinación más exacta de su edad. Se encontró que las de la asociación II de Perseo tenían cerca de 1,3 millones de años, y de ese orden eran las edades estelares de otras asociaciones.

Sin embargo, la existencia de algunos núcleos en las asociaciones densas del tipo O muestran que no es posible reducir el movimiento de todas las estrellas de las asociaciones a una divergencia desde un centro común. Es lógico suponer que los diversos núcleos son distintos centros de formación de estrellas de manera que el cuadro completo de los movimientos estelares en las asociaciones densas debe ser más complicado.

Las primeras indicaciones de esto fueron observadas por Artyukhina, quien probó que en la asociación II de Cefeo hay dos centros a partir de los cuales divergen las estrellas. La asociación de Orión es más compleja. Según Blaauw y Morgan, dos estrellas del primer tipo espectral (AE del Cochero y μ de Paloma) están alejándose muy rápidamente de un punto cerca de la gran nebulosa de Orión. Las investigaciones de Strand han probado que la agrupación en torno al Trapecio está expandiéndose a unos 5 km/sec. Esto quiere decir que la edad de esta agrupación no puede exceder de 3×10^5 años, en buena concordancia con la suposición de que los sistemas del tipo del Trapecio son muy jóvenes. De modo que puede considerarse como sentado que la asociación de Orión contiene dos grupos en expansión. También es verdad que esta asociación contiene otros grupos cuyo movimiento es distinto de aquellos dos. Por ejemplo, hay buenas pruebas de que las tres estrellas del tahalí de Orión tienen un origen común; sin embargo, todavía no se ha podido aclarar la ley del movimiento en este grupo debido a la pequeñez de sus velocidades relativas.

La existencia en «asociaciones» densas del tipo O de grupos aislados formados en diferentes épocas y que se expanden con independencia es un hecho importante, que debe tenerse en cuenta en cualquier intento de explicar el origen de las asociaciones del tipo O.

EL ORIGEN DE LAS «ASOCIACIONES» DEL TIPO O

Si seguimos anti-cronológicamente la evolución de una agrupación encontramos que cada grupo que se expande debe haber ocupado en un momento del pasado un volumen mucho menor que el actual. Sin embargo, la cuestión principal es cuál haya sido el volumen del grupo en expansión cuando sus estrellas se diferenciaron de algún cuerpo primitivo para formar objetos aislados. Naturalmente debe suponerse que la luminosidad de aquellos cuerpos en las primeras etapas puede haber sido completamente diferente de la que resultó cuando cada uno llegó a ser una estrella en un estado más o menos estable.

El hecho de que se observen sistemas del tipo del Trapecio en las asociaciones (sistemas que son inestables pese a tener dimensiones de 0,1 ps aproximadamente) indica que el volumen original puede haber sido muy pequeño. Si vamos más allá y postulamos que en los primeros estadios de su desarrollo los trapecios eran grupos todavía más densos, llegamos a la conclusión de que el cuerpo preestelar a partir del que se formó el grupo en expansión era de enorme densidad. También debe de haber sido muy grande su masa, con varios cientos o miles de veces la del Sol. Ni la observación ni la teoría sugieren que puedan existir configuraciones estables de masa tan elevada con dimensiones del orden de los radios estelares, o

mayor. Por ello, nosotros hemos adelantado la hipótesis de que el cuerpo origen de las estrellas era «superdenso». La densidad de esta «protoestrella» podría haber sido del mismo orden que la de los núcleos de los átomos. Puede ser que las protoestrellas en tal estado tengan luminosidades muy pequeñas y por eso todavía no han podido ser observadas.

Sin embargo, hay que destacar que hasta ahora no existe una teoría lógica de la estructura de tales protoestrellas que pudiera explicar cómo su materia se transforma en estrellas ordinarias que se alejan a grandes velocidades.

J. H. Oort ha sugerido un proceso menos hipotético mediante el que podrían formarse las asociaciones estelares; según su teoría, una estrella del tipo O en una nebulosa muy pesada hace que las porciones internas resulten muy calientes y se expandan comprimiendo el gas en la zona límite entre el exterior y las partes calientes. Las estrellas se formarían en los límites de la nebulosa debido a la inestabilidad gravitatoria de las condensaciones resultantes, y se alejarían de su centro. Nos parece que esta teoría está en contradicción con el hechos observado de que en los sistemas múltiples como el del Trapecio, por ejemplo, se hallan grupos de estrellas muy jóvenes, precisamente en el centro de la nebulosa.

Nótese que la idea de formación estelar a partir de nebulosas gaseosas encaja en las teorías cosmogónicas tradicionales según las que todos los cuerpos celestes proceden de nebulosas. Sin embargo, nuestra suposición personal de que se forman grupos de estrellas a partir de protoestrellas superdensas conduce forzosamente a la conclusión de que estrellas y nebulosas fueron formadas a la vez por la protoestrella. Según esta teoría, la expansión del grupo estelar y la de la nebulosa son fenómenos conexos causados por la desintegración de la protoestrella. Ha de notarse que la formación de nebulosas en expansión a partir de cuerpos densos (supernovas, nebulosas planetarias) es ya familiar en astronomía. Así nuestro punto de vista está de acuerdo en cierto modo con una tendencia natural conocida.

LAS ESTRELLAS INESTABLES

Como vimos, los miembros de las asociaciones del tipo T son estrellas variables, como la RW del Cochero, que tienen variaciones sumamente irregulares en su brillo, por lo que parece seguro que no se hallan en estado estable, cosa lógica puesto que los miembros de las asociaciones del tipo T son estrellas jóvenes.

Sin embargo, el espectro de alguno de estos cuerpos tiene características interesantes que fuerzan a la conclusión de que emiten no sólo radiación térmica (esto es, como la recibida de las demás estrellas) sino también radiación no térmica. Esta se debe a alguna causa desconocida que obra de vez en cuando en las atmósferas de las estrellas inestables. Sea cualquiera el mecanismo real de tal emisión no térmica, está claro que contiene energía liberada por poderosas fuentes de alguna clase en las capas externas de la estrella. De modo que en estas estrellas hay procesos de liberación de energía no sólo en la región central sino también en las capas externas de su atmósfera.

El astrónomo mejicano Haro ha mostrado que las estrellas inestables en las asociaciones T incluyen algunas que «entran en erupción», aumentando su luminosidad varias veces su valor en pocos minutos. En tales casos, la energía liberada en su atmósfera procedente de fuentes desconocidas, se emite durante un tiempo muy breve y la liberación tiene carácter explosivo. ¿Cómo explicar este fenómeno?

Puesto que las estrellas inestables son cuerpos jóvenes formados con materia preestelar superdensa, podemos suponer que parte de dicha materia perdura en ellas sin haberse convertido aún en materia estelar ordinaria. Cuando las condensaciones de materia superdensa remanentes en la estrella llegan a las capas exteriores de su atmósfera, se convierten en materia ordinaria con liberación de cantidades muy grandes de energía.

Así llegamos a la idea de condensaciones metastables de materia superdensa (de densidad nuclear) que se disgregan espontáneamente en las capas externas con liberación de energía en cantidades discretas, frente a la evolución continua por procesos termonucleares, como en todas las estrellas.

LOS CUERPOS DE HERBIG-HARO

Hemos visto que las asociaciones del tipo O comprenden sistemas múltiples del tipo del Trapecio, que son grupos muy apiñados y según todas las apariencias, cuerpos muy jóvenes. Las asociaciones del tipo T incluyen cuerpos que en cierto modo corresponden a los trapecios: los cuerpos de Herbig-Haro, pequeñas nebulosas cuyo diámetro son 10^4 unidades astronómicas (1 unidad astronómica es el promedio del radio de la órbita terrestre) y que contienen algunas condensaciones parecidas a estrellas. Dichas condensaciones están distribuídas análogamente a las estrellas en los sistemas múltiples del tipo Trapecio.

Los espectros de las nebulosas que contienen estas condensaciones son similares a los de la pequeña nebulosa en torno a T del Toro. Sin embargo, muchas de las características espectroscópicas que distinguen a esta nebulosa son más destacadas en los cuerpos de Herbig-Haro. Por lo tanto, nosotros avanzamos la sugerencia de que en este caso se trata de grupos de estrellas que están al comienzo de su existencia como estrellas T del Toro.

Esta explicación encontró prueba contundente por el trabajo de Herbig, quien halló en 1954 en uno de los cuerpos de Herbig-Haro dos condensaciones jóvenes nuevas, parecidas a estrellas, hasta entonces no visibles en las fotografías. Es difícil decidir si estamos en presencia directa de la formación de estrellas nuevas o si esta observación indica los extraños y poderosos procesos que tienen lugar cuando nace una estrella. Sin embargo, es indudable que el estudio de estos procesos nos conducirá más cerca todavía de la comprensión del fenómeno del origen de las estrellas.

CONCLUSION

Hemos visto cómo los resultados obtenidos por los astrofísicos en los diez o quince años pasados, y sobre todo los datos sobre las asociaciones estelares, nos han acercado más a la solución de los problemas relativos al origen de las estrellas.

Los resultados más importantes son el conocimiento de que el proceso de la formación de las estrellas está efectuándose todavía en nuestra Galaxia y en otras galaxias espirales y que las estrellas se forman en grupos. También parece cierto que la formación de grupos en expansión dentro de las agrupaciones se halla relacionada con la expansión de las nebulosas gaseosas en ellos existentes.

Sin embargo, las estrellas formadas en las asociaciones tienen, por lo regular, movimientos tales que no las alejan del plano galáctico. El proceso que aquí estudiamos permite por tanto explicar a lo sumo el origen de aquella parte de la población estelar que forma el «subsistema plano», denominando así el disco galáctico y las ramas espirales.

Hay sin embargo, otros subsistemas, los «subsistemas estéricos», cuyos miembros pueden alejarse del plano galáctico. Uno de estos subsistemas esféricos comprende las agrupaciones globulares. Otros incluyen las cefeidas de período corto del tipo de la RR de Lira (estrellas variables cuyo período de variación de brillo es inferior a un día).

Surge la cuestión del origen de estos diversos cuerpos. Según una teoría (Baade, Schwarzschild, Spitzer), todos los cuerpos en los subsistemas esféricos son viejos, con edades superiores a 3×10^9 años. Se formaron a partir de cuerpos en los subsistemas planos, que alcanzaron velocidades, que permitieron a algunos de ellos alejarse del plano galáctico.

Otra doctrina (la de Kukarkin) que nos parece más probable es la de que el elevado promedio de edad de las estrellas en los subsistemas esféricos no excluye la existencia de cuerpos jóvenes en ellos.

La hipótesis de que la formación de grupos de estrellas puede haber tenido lugar entre estos cuerpos está sostenida también por la presencia de agrupaciones globulares. Puesto que éstos nunca están relacionados con las nebulosas gaseosas más destacadas, es evidente que quienes mantengan las ideas tradicionales de que las estrellas proceden de las nebulosas han de negar que pueden existir estrellas jóvenes entre los miembros de los subsistemas esféricos, pero quienes crean más probable que tanto estrellas como nebulosas se forman ambas de una tercera clase de cuerpo, las protoestrellas, no hallarán razón en contra de la contínua formación de estrellas, incluso entre la población de los subsistemas esféricos.

Podemos esperar que los años venideros aportarán la solución de este problema. Y entonces podremos decir si las extrañas «asociaciones» ocurren incluso entre los miembros de los subsistemas esféricos.

Revista de libros

CIENCIA GENERAL

CONANT, J. B. (Compilador): *Harvard Case Histories in Experimental Science*. Vol. I, XVI+321 págs; Vol. II, VII+325–639 págs. Harvard University Press, Cambridge, Mass.; Oxford University Press, Londres. 1958. 80s.

El Dr. Conant ha tenido ocasiones sin igual en el curso de una larga y brillante carrera de investigador químico, profesor, funcionario y diplomático para llegar a comprender el escaso conocimiento que el profano tiene de la estrategia y táctica de la ciencia. Aún las personas más inteligentes e instruídas muy pocas veces saben percibir los verdaderos principios científicos, no porque ignoren los datos científicos o el lenguaje de la ciencia sino por su fundamental incomprensión de lo que puede y no puede hacer la ciencia. Sin embargo, esas personas quizás tengan en un momento dado de su vida que influir sobre la organización o financiamiento de un proyecto científico.

No hay manera fácil de vencer esa dificultad, pero el Dr. Conant estima que el estudio de los «casos» que presenta pueden servir para instruir al lector sobre los métodos que han conducido al progreso científico, creando así en él una actitud a un tiempo crítica y favorable respecto a la investigación experimental en cualquier terreno. «El íntimo conocimiento de algunos casos históricos puede ayudarle a orientarse en las complejidades de la moderna investigación».

Los casos seleccionados, presentados con gran habilidad, son los experimentos neumáticos de Boyle, la derrota de la doctrina flogística, los primeros desarrollos de las nociones de temperatura y calor, la teoría atómico-molecular, las plantas y la atmósfera, los estudios sobre la fermentación de Pasteur, los de éste y de Tyndall sobre la generación espontánea, y el desarrollo de la noción de carga eléctrica.

E. J. HOLMYARD

ASTROFISICA

AMBARTSUMYAN, V. A. (Director de la edición): *Theoretical Astrophysics* (traducción inglesa del ruso por J. B. Sykes). XII+654 págs. Pergamon Press Ltd., Londres. 1958. £6 15s.

Se trata de una valiosa adición a la literatura astrofísica, que desarrolla especialmente el aspecto teorético necesario para la interpretación inmediata de las observaciones. Así, la mayor parte del libro trata de las atmósferas y espectros estelares, primero de las estrellas normales y luego de las especiales (nébulas planetarias, novas y estrellas de línea brillante). Contiene una sección considerable sobre las capas externas del Sol, e incluye el estudio de la electrodinámica de la atmósfera solar y de las radioemisiones procedentes del Sol. Hay también secciones sobre la transferencia radiativa en las atmósferas planetarias y en la materia interestelar. De acuerdo con el tenor general de la obra, sólo hay una breve sección sobre la constitución interna de las estrellas.

Los problemas físicos que plantean estos temas están tratados de lleno, pero haciendo uso solamente del mínimo aparato matemático. Las incertidumbres y dificultades se expresan claramente. Este libro puede por lo tanto servir como libro de texto y como guía de investigadores. Los diversos autores han revisado el texto para la traducción e incluido unas generosas palabras de homenaje a las contribuciones británicas. La labor del traductor es soberbia.

W. H. McCREA

QUIMICA

BASOLO, F. y PEARSON, R. G.: *Mechanisms of Inorganic Reactions*. XI+426 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman & Hall Ltd., Londres. 1958. 94s.

El presente tomo habrá de ser muy bien recibido, pues trata de un aspecto de la química de la coordinación que interesa cada día más. En él se estudian los mecanismos de las reacciones de los compuestos complejos. Después de una valiosa introducción, contiene un claro estudio de la teoría del enlace de coordinación, las reacciones de substitución de los complejos octaédricos, las reacciones de substitución de los complejos cuadrados, la estereoquímica de las reacciones de substitución de los complejos octaédricos, las reacciones de oxidación-reducción y los efectos catalíticos de los compuestos de coordinación. El autor señala que hay tres teorías con las que actualmente se intenta explicar la estructura, estabilidades y propiedades generales de los compuestos de coordinación: la teoría del enlace valencial, la de los orbitales moleculares y la electrostática, incluyendo las correcciones de los campos cristalográficos. El autor admite que las tres pueden explicar cualitativamente las características principales de los complejos, pero en lo que se refiere a los cálculos cuantitativos considera mucho más adecuada la electrostática, combinada con la de los campos cristalográficos. Este libro es indudablemente un instrumento valioso para conocer los más importantes progresos en el campo de la química de los complejos metálicos.

W. WARDLAW

SHOPPEE, C. W.: *Chemistry of the Steroids*. VII+314 págs. Butterworth's Scientific Publications Ltd., Londres. 1958. 50s.

Al presentarse como un complejo problema de análisis estructural y más tarde de síntesis y biosíntesis, los esteroides han estimulado el desarrollo de nuevos métodos analíticos y de sintetización. Son estructuras de átomos de carbono no aromáticos y bastante rígidas, con lo que ayudaron al conocimiento de la substitución y eliminación alifática, las diferencias rotacionales, la dispersión rotacional y los espectros de absorción. Su importancia en la fisiología animal provocó la invención de nuevos métodos químicos que hiciesen posible la producción de esteroides raros y potentes a partir de substancias de fácil obtenibilidad.

En este libro pueden percibirse todos esos amplios horizontes a través de la selva de un texto muy cargado. El autor, usando descripciones con un mínimo de explicaciones, consigue presentar el estado actual de los conocimientos en la química de los esteroides, recogiendo los datos obtenidos hasta 1956; la principal omisión es la de los alcaloides esteroideos. La obra está muy bien ordenada y redactada y es, por lo general, exacta. Las fórmulas están bien presentadas y la impresión es excelente.

J. W. CORNFORTH

PALEONTOLOGIA

PIVETEAU, Jean: *Traité de paléontologie*. Vol. VII, *Primates: paléontologie humaine*. 675 págs. Masson et Cie., París. 1958. En rústica: 12 000 frs.; pasta 12 800 frs.

El séptimo y último volumen de este tratado francés de paleontología estudia los restos fósiles de los primates, con especial referencia a los orígenes del hombre. Su autor es un distinguido

catedrático de la Sorbona, y la obra refleja su autoridad en esta materia. Además tiene el valor de representar la aplicación de principios paleontológicos bien establecidos a una zona especial de la evolución sobre la que por lo general se pronuncian autores que apenas tienen experiencia en el estudio e interpretación del material fósil. Una tercera parte del libro trata de los primates inferiores, no homídicos. Nosotros hubiéramos deseado que esta sección fuese mucho más amplia, sobre todo porque los datos sobre numerosos e importantísimos especímenes de los primates más antiguos se hallan diseminados en diversas revistas, muchas de ellas de difícil consulta. El resto del libro se ocupa de lo que generalmente se llama «paleontología humana». El curso de la evolución homídica se divide en dos fases: la primera (que es la más larga) traza el desarrollo evolutivo gradual de los representantes prehumanos de *Hominidae;* la segunda señala la aparición del verdadero «hombre»: esto es, de seres que poseen los atributos (tales como un cerebro voluminoso y la capacidad de fabricar herramientas) que generalmente se atribuyen a los términos «hombre» y «humano». De los primeros fósiles que el autor incluye decididamente en *Hominidae*, quizás los más interesantes son las criaturas microcefálicas que se han encontrado en gran abundancia en Sudáfrica: los *Australopithecinae*. Los más antiguos representantes de la «humanidad», en el sentido que Piveteau da a este término, son los Pitecántropos del Pleistoceno anterior y medio, a partir del cual existen fósiles en secuencia bien graduada hasta llegar al *Homo sapiens*. W. E. LE GROS CLARK

BIOLOGIA

BARNETT, S. A. (Compilador): *A Century of Darwin*. XVI + 376 págs. William Heinemann Ltd., Londres. 1958. 30s.

Los quince ensayos que contiene este volumen no intentan, en general, trazar el curso del pensamiento biológico desde Darwin a nuestros días; la mayoría de ellos procuran explicar la posición actual respecto a diversos problemas, mayores o menores, que preocuparon al gran sabio y nos interesan todavía. El resultado es un homenaje a Darwin mucho más elocuente que hubiera podido serlo una devota hagiografía, ya que sus doctrinas aparecen, una y otra vez, como de gran actualidad.

El Dr. Barnett y sus distinguidos colaboradores realizan una obra muy valiosa. Todos los ensayos están escritos con claridad y resultan amenos tanto para el biológo especializado, como para el estudiante y naturalista. Quiero mencionar sobre todo los de T. Dobzhansky sobre el problema de las especies; de C. M. Yonge, sobre los arrecifes coralinos; de J. Heslop-Harrison, sobre los trabajos botánicos de Darwin. El trabajo en que D. Michie anuncia la aurora del tercer estadio de la ciencia genética es altamente estimulante, pero el de R. A. Crowson al tratar iconoclásticamente los problemas de la clasificación no me parece conseguir su objetivo, por lo menos en opinión de un lector no especialista. J. Maynard Smith, que estudia la selección sexual, y W. Le Gros Clark, que escribe sobre la descendencia del hombre, son ambos admirables. Hay además otros ensayos sobre el darwinismo y la sociología y las posibles consecuencias éticas de la evolución. D. R. NEWTH

BIOQUIMICA

Ciba Foundation Symposium on the Chemistry and Biology of Mucopolysaccharides. (Compilado por G. E. W. Wolstenholme y M. O'Connor.) XII + 323 págs. J. and A. Churchill Ltd., Londres. 1958. 54s.

Los mucopolisacáridos y las mucoproteínas son substancias que contienen complejos hidratos de carbono macromoleculares y aminoácidos. Aún no se conocen detalladamente todos los fenómenos químicos a ellas referidos, pero sí se les reconoce gran importancia biológica, ya que son constituyentes esenciales de las células vivas. Este libro recoge los debates de un reducido grupo de especialistas procedentes de distintos países, reunidos por la Fundación Ciba bajo la presidencia de W. T. J. Morgan.

M. Stacey estudia las técnicas generales químico-orgánicas aplicadas al estudio de la estructura del grupo; A. G. Ogston describe el enfoque físico-químico en relación con los ácidos hialurónicos; E. A. Kabat presenta el nuevo método inmunoquímico para la determinación de estructuras. Este método, que implica la inhibición específica de complejas reacciones inmunoquímicas mediante el uso de di- y oligo-sacáridos de estructura conocida ha probado ya ser de gran valor para aclarar la arquitectura molecular de los factores de los grupos sanguíneos y de los polisacáridos neumocócicos y de otras bacterias específicas.

Se describen también otros trabajos de Jeanloz, Partridge, Dische y colaboradores sobre los mucopolisacáridos sulfatados que contienen azúcar, prestándose especial atención al complejo de sulfato condroitínico presente en tejidos cartilaginosos y conectivos. Hay un estimulante estudio (Meier) de los efectos farmacológicos de los polisacáridos, y otro muy importante (Westphal) sobre los componentes de las bacterias Gram-negativas. Otros temas de interés son los sacáridos que contienen nitrógeno presentes en la leche humana (Gyorgy), las substancias específicas de los grupos sanguíneos (Morgan) y los mucopolisacáridos del moco epitelial (Odin), plasma (Winzler) y orina (Maclagan, Anderson). Los capítulos más importantes son quizás los que describen el grupo de compuestos siálicos (neuramínicos) y su relación con el virus de la grippe. El ácido siálico fue descubierto hace más de 20 años por Blix en el moco submaxilar; pudo cristalizarlo, a pesar de su gran labilidad. Klenk obtuvo la misma substancia mediante la degradación de gangliósidos; también aparece, libre o combinada, en numerosos puntos en tejidos sanos y enfermos. Los especialistas Blix, Klenk, Gottschalk, Svennerholm *et al.* revistan los aspectos más recientes de este tema.

Los debates están recogidos fielmente en todas las secciones. Siempre son estimulantes y valiosos, por lo que aconsejamos a todos los bioquímicos la lectura de esta obra, que alcanza siempre el nivel de las anteriores publicaciones de la Fundación Ciba.

M. STACEY

BOTANICA

HUDSON, J. P. (Compilador): *Control of the Plant Environment*. XVI + 240 págs. Butterworth's Scientific Publications Ltd., Londres; Academic Press Inc., Nueva York. 1957. 42s.

Los simposios celebrados en la Escuela de Agricultura de la Universidad de Nottingham han adquirido rápidamente gran prestigio como valiosos puntos de reunión de los especialistas en ciencias biológicas y agronómicas. En este libro, el profesor Hudson recoje, con gran celeridad y acierto, los debates del simposio celebrado en Sutton Bonnington en 1957.

El tema central de los trabajos y discusiones fue el estudio del crecimiento y desarrollo de las plantas en

condiciones ambientales controladas. Los fitofisiólogos y todos los que se interesan en los problemas básicos del cultivo vegetal hallarán aquí mucho material de valor, aunque éste es ante todo un libro para especialistas.

En las dos primeras partes se recojen diez colaboraciones; algunas de ellas son estudios generales del crecimiento y desarrollo vegetal, de calidad más bien variable, mientras que otras tratan más específicamente de la influencia de ciertos factores ambientales: temperatura, intensidad lumínica, vientos y humedad del suelo. En estos estudios se ha prestado más atención a los factores climáticos que a los edáficos. Las últimas partes del libro tratan de las instalaciones y equipos hoy existentes para el estudio controlado de las condiciones ambientales y para la experimentación vegetal, incluyéndose desde los fitotrones a las simples cámaras y gabinetes de crecimiento. E. W. YEMM

HISTORIA DE LA CIENCIA

HABER, L. F.: *The Chemical Industry during the Nineteenth Century.* x+292 págs. Oxford University Press, Londres. 1957. 45s.

Este atrayente, original y objetivo estudio, bien documentado y acompañado de una útil bibliografía, se presenta como «un trabajo sobre los aspectos económicos de la química aplicada en Europa y Norteamérica». Además trata de los efectos de la enseñanza de la química — y a veces de su insuficiencia — sobre el desarrollo de la industria química, junto con problemas relacionados con el trabajo y otros factores sociológicos. Abre pues nuevos horizontes y es una valiosa aportación, quizás en especial debido a la luz que arroja sobre las relaciones entre Gran Bretaña y el continente europeo. A pesar de su amplio título, el libro trata de las ramas de la industria química ocupadas en la producción de ácidos, álcalis, productos de blanqueo y colorantes; el cuadro no es, sin embargo, completo. Es lástima que se diga que en el siglo XIX la química había dejado de ser «la servidora de la medicina y la metalurgia» y dejar al mismo tiempo esos aspectos fuera del estudio para presentarla como la servidora de las industrias textiles. Debemos señalar, con todo, que las manufacturas elegidas han sido las más importantes hasta bien entrado el siglo XX.

A pesar de algunos errores ocasionales, es evidente el interés y valor de esta obra, llena de datos informativos, que debe hallarse a disposición de todo estudiante de química. Todo químico profesional debe, como es natural, leerla; los economistas y sociólogos hallarán mucho de interés en ella.

F. W. GIBBS

SCOTT, J. F.: *A History of Mathematics.* x+266 págs. Taylor and Francis Ltd., Londres. 1958. 63s.

Se trata de un estudio, breve y estimulante, del desarrollo de las matemáticas desde los papiros de Rhind hasta las *Disquisitiones arithmeticae* de Gauss. Tiene especial valor porque reproduce las palabras y símbolos mismos utilizados por los grandes maestros en sus obras más caracterizadas, e incluye al mismo tiempo una explicación apreciativa de las dificultades que se les planteaban. El orden cronológico estricto se ha subordinado a un esquema — más lógico y natural — en el que se sigue el orden del desarrollo de las ideas. El libro está ilustrado con cinco magníficas fotografías de ciertos escritos matemáticos clásicos, y suministra breves biografías de las figuras más importantes de tan noble ciencia.

G. TEMPLE

SANTILLANA, Giorgio de: *The Crime of Galileo.* XVI+339 págs. William Heinemann Ltd., Londres. 1958. 30s.

En 1613, Galileo escribió al Padre Benedetto Castelli una carta en la que defendía contra las críticas eclesiásticas la hipótesis copernicana del movimiento de la Tierra, citando para ello las Sagradas Escrituras. La carta causó cierta conmoción, especialmente entre los clérigos peor instruidos pero más exaltados, aunque era evidente que los altos dignatarios no querían iniciar una acción decidida contra Galileo si éste, por su parte, no exigía una declaración de principio. Pero Galileo, que, como otros grandes hombres, era sardónico, brillante, más dialéctico que táctico, y difícilmente podía soportar la estulticia, aunque ésta ocupase altos sitiales, provocó el resultado que, tanto entonces como lo hubiera sido ahora, era inevitable.

Este libro, que demuestra la gran erudición de su autor, describe en detalle todos los sucesos, personalidades e intrigas que condujeron al proceso de Galileo ante la Inquisición en 1633, y relata el proceso mismo y sus consecuencias. Incluye detallados estudios de las figuras principales, entre ellas el Cardenal Belarmino y el Papa Urbano VIII, revelando un profundo conocimiento del período y de la escena italiana. A veces sucede que el relato de una aburrida intriga se hace también aburrido, pero eso nos parece inevitable.

La curiosa mezcla entre la Italia clásica y el lenguaje lleno de americanismos es quizás intencionada, ya que uno de los propósitos del autor es señalar la similaridad entre los Estados Unidos de hoy y la Italia de Galileo en lo que se refiere al tratamiento de la ciencia por los poderes estatales y eclesiásticos respectivamente.

E. N. DA C. ANDRADE

DUGAS, René: *A History of Mechanics.* Traducción del francés por J. R. Maddox. 671 págs. Routledge and Kegan Paul Ltd., Londres. 1957. 100s.

La tarea que se ha impuesto el autor de esta obra es en verdad formidable: preparar una historia de la mecánica, en todos sus aspectos, desarrollando el tema desde las especulaciones de Aristóteles hasta los resultados de de Broglie y Dirac y estudiando con gran detalle los trabajos de Jerome Cardan y Arthur Compton, de Jean Buridan y Niels Bohr. El gran alcance de la obra puede quizás expresarse mejor citando los títulos de las cinco Partes (las cuatro primeras tienen aproximadamente la misma extensión y la última es algo más larga): Los orígenes, que cubren hasta el período de Tartaglia y Keplero; La formación de la mecánica clásica, que incluye a Stevinus, Huygens y Newton; El desarrollo de los principios de la mecánica clásica en el siglo XVIII, que trata de los descubrimientos desde Jean Bernoulli hasta Lagrange; La evolución de la mecánica clásica después de Lagrange, que estudia los progresos desde Laplace a Helmholtz y las agudas críticas de Henri Poincaré; y Los principios de las modernas teorías físicas de la mecánica, que trata desde la aparición de la relatividad hasta los recientes progresos de la mecánica cuántica bajo Heisenberg y Schrödinger.

M. René Dugas posee toda la amplitud y la cordialidad mentales, la profunda erudición y el conocimiento detallado necesarios para tal labor. Por ello su libro ha sido muy alabado en la versión original y lo será sin duda en esta traducción inglesa, que se convertirá en obra obligada de consulta de los lectores de historia de la ciencia en lengua inglesa. E. N. DA C. ANDRADE

Revistas resumidas de libros

(Estas revistas tienen carácter descriptivo más bien que crítico y sirven para dar una indicación general del contenido y naturaleza de las obras tratadas.)

CHISHOLM, J. S. R. y DE BORDE, A. H.: *An Introduction to Statistical Mechanics.* IX + 160 págs. Pergamon Press, Londres. 1958. 35s.

Los autores de este libro utilizan una adaptación del método de Darwin-Fowler para guiar al estudiante que no posea pleno conocimiento del cálculo integral complejo en su iniciación al estudio de la mecánica estadística. Se presta especial atención a la Tercera ley de la termodinámica, procurándose a lo largo de todo el libro mantener un apropiado equilibrio entre los aspectos teóricos y sus aplicaciones.

DEMEREC, M. (Compilador): *Advances in Genetics*, Vol. IX. VIII + 294 págs. Academic Press Inc., Nueva York; Academic Books Ltd., Londres. 1958. $8,80.

Este libro contiene seis estudios sobre los temas siguientes: la genética demográfica de *Drosophila robusta*, por H. L. Carson; la genética de los basidiomicetos, por H. P. Papazian; el análisis genético basado en la recombinación mitótica, por G. Pontecorvo y E. Käffer; mapa 8-cromosómico de *Aspergillus nidulans*, por E. Käffer; la inviabilidad, debilidad y esterilidad de híbridos interespecíficos, por G. L. Stebbins; y el mecanismo de la determinación sexual en las fanerógamas diecias, por M. Westergaard. Estos trabajos están escritos para especialistas en los mismos y afines estudios.

KUNIN, R.: *Ion Exchange Resins* (2ª edición). XIII + 466 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman & Hall Ltd., Londres. 1958. 88s.

El creciente uso de las resinas de intercambio iónico exigía una revisión a fondo de la edición anterior de este libro, publicada hace ocho años. Las secciones sobre las membranas permselectivas, hidrometalurgia, refinación del azúcar, y las resinas de intercambio específico constituyen ahora capítulos separados, y se ha incluido nuevo material sobre los intercambiadores iónicos líquidos, la catálisis, la estabilidad y los usos de las resinas de intercambio iónico. Este libro está destinado, como la edición anterior, a servir de estudio general de una rama determinada para uso de aquéllos que sólo trabajan dentro de una sección especial de la misma.

HAÏSSINSKY, M. (Compilador): *Actions chimiques et biologiques des radiations.* Parte III. 222 págs. Masson et Cie., París. 1958. Rústica: Frs. 4000; encuadernado: Frs. 4800.

Este libro se divide en tres partes: la primera, por M. Burton, trata de la radiolisis de los líquidos orgánicos; la segunda, por A. Chapiro y M. Magat, de las polimerizaciones producidas por las radiaciones; la tercera, por A. Charlesby, de los efectos de las radiaciones de elevada energía sobre los polímeros. El libro está destinado a los no especialistas, así como a los radioquímicos y radiobiólogos.

The Effects of Atomic Radiation on Oceanography and Fisheries. IX + 137 págs. Publicado por The National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D.C. 1957. $2.

Forma parte de una serie de estudios iniciada en 1955 sobre los efectos biológicos de las radiaciones atómicas. Los primeros informes se publicaron bajo el título *Biological Effects of Atomic Radiation—Summary Reports.* El que reseñamos recoge la continuación de los trabajos de uno de los comités. Los trece capítulos tratan en detalle los diversos aspectos del uso de los oceanos como lugares para la eliminación de substancias radiactivas artificiales, así como las técnicas para la utilización de los trazadores, tanto para la medición de los procesos físicos y químicos que tienen lugar en el mar y en la atmósfera como en los experimentos biológicos en gran escala.

Extra Pharmacopoeia, Vol. I (24ª edición). XXX + 1695 págs. The Pharmaceutical Press, Londres. 1958. 65s.

Esta obra ha sufrido una revisión completa desde su anterior edición. Uno de los cambios es que, a semejanza de la *British Pharmacopoeia* y el *British Pharmacopoeia Codex*, se usa el inglés, en vez del latín, en los títulos principales de las drogas. Incluye una lista de los cambios contenidos en la *British Pharmacopoeia*, una lista de medicamentos, sus dosis y usos, y secciones especiales sobre los antibióticos, los productos inmunológicos y los isótopos radiactivos. Hay un índice terapéutico y otro especial.

LOVELACE, A. M., POSTELNEK, W. y RAUSCH, D. A.: *Aliphatic Fluorine Compounds.* X + 370 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman & Hall Ltd., Londres. 1958. 100s.

La preparación y propiedades de todos los compuestos orgánicos no aromáticos del flúor están recogidas en este libro, el cual no contiene detalles prácticos de las preparaciones, pero señala las referencias; incluye además 60 tablas que indican las propiedades físicas de unos 4500 compuestos orgánicos con flúor.

SAVIDAN, L.: *La chromatographie.* VII + 109 págs. Dunod, París. 1958. Frs. 680.

La primera sección de este libro trata de la teoría cromatográfica, y a continuación se describen los métodos, aparatos y aplicaciones de esta nueva técnica. Esta obra no se propone sustituir los textos clásicos de consulta, sino más bien servir de introducción a esta materia para uso de los estudiantes de química, químicos y biólogos que precisen un estudio general de tal especie.

COMAR, C. L.: *Atomic Energy and Agriculture.* X + 450 págs. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C.; Bailey Bros. & Swinfen Ltd., Londres. 1957. 86s.

Contiene la reseña de un simposio celebrado en Atlanta en Diciembre de 1955 e incluye 22 ponencias cuyos temas son, entre otros, el uso de los isótopos radiactivos en la investigación agrícola, el procesado radiactivo de los productos alimenticios, y la solubilidad y utilización por las plantas de los micronutrientes. Los trabajos van acompañados de extensas bibliografías.

JUNG, J.: *Précis de pétrographie.* 314 págs. Masson et Cie, París. 1958. En rústica, Frs. 3600; en pasta, Frs. 4600.

Se trata de un texto introductorio para uso de los estudiantes y se refiere al empleo del microscopio de polarización en petrografía. Muestra la utilidad de este instrumento para la obtención de datos sobre la constitución mineralógica de las rocas, su historia e interrelaciones. Contiene numerosas ilustraciones a línea y medio-tono y un extenso índice.

Revistas resumidas de libros

(Estas revistas tienen carácter descriptivo más bien que crítico y sirven para dar una indicación general del contenido y naturaleza de las obras tratadas.)

CHISHOLM, J. S. R. y DE BORDE, A. H.: *An Introduction to Statistical Mechanics.* IX+160 págs. Pergamon Press, Londres. 1958. 35s.

Los autores de este libro utilizan una adaptación del método de Darwin-Fowler para guiar al estudiante que no posea pleno conocimiento del cálculo integral complejo en su iniciación al estudio de la mecánica estadística. Se presta especial atención a la Tercera ley de la termodinámica, procurándose a lo largo de todo el libro mantener un apropiado equilibrio entre los aspectos teóricos y sus aplicaciones.

DEMEREC, M. (Compilador): *Advances in Genetics*, Vol. IX. VIII+294 págs. Academic Press Inc., Nueva York; Academic Books Ltd., Londres. 1958. $8,80.

Este libro contiene seis estudios sobre los temas siguientes: la genética demográfica de *Drosophila robusta*, por H. L. Carson; la genética de los basidiomicetos, por H. P. Papazian; el análisis genético basado en la recombinación mitótica, por G. Pontecorvo y E. Käffer; mapa 8-cromosómico de *Aspergillus nidulans*, por E. Käffer; la inviabilidad, debilidad y esterilidad de híbridos interespecíficos, por G. L. Stebbins; y el mecanismo de la determinación sexual en las fanerógamas diecias, por M. Westergaard. Estos trabajos están escritos para especialistas en los mismos y afines estudios.

KUNIN, R.: *Ion Exchange Resins* (2ª edición). XIII+466 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman & Hall Ltd., Londres. 1958. 88s.

El creciente uso de las resinas de intercambio iónico exigía una revisión a fondo de la edición anterior de este libro, publicada hace ocho años. Las secciones sobre las membranas permselectivas, hidrometalurgia, refinación del azúcar, y las resinas de intercambio específico constituyen ahora capítulos separados, y se ha incluido nuevo material sobre los intercambiadores iónicos líquidos, la catálisis, la estabilidad y los usos de las resinas de intercambio iónico. Este libro está destinado, como la edición anterior, a servir de estudio general de una rama determinada para uso de aquéllos que sólo trabajan dentro de una sección especial de la misma.

HAÏSSINSKY, M. (Compilador): *Actions chimiques et biologiques des radiations.* Parte III. 222 págs. Masson et Cie., París. 1958. Rústica: Frs. 4000; encuadernado: Frs. 4800.

Este libro se divide en tres partes: la primera, por M. Burton, trata de la radiolisis de los líquidos orgánicos; la segunda, por A. Chapiro y M. Magat, de las polimerizaciones producidas por las radiaciones; la tercera, por A. Charlesby, de los efectos de las radiaciones de elevada energía sobre los polímeros. El libro está destinado a los no especialistas, así como a los radioquímicos y radiobiólogos.

The Effects of Atomic Radiation on Oceanography and Fisheries. IX+137 págs. Publicado por The National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D.C. 1957. $2.

Forma parte de una serie de estudios iniciada en 1955 sobre los efectos biológicos de las radiaciones atómicas. Los primeros informes se publicaron bajo el título *Biological Effects of Atomic Radiation—Summary Reports.* El que reseñamos recoge la continuación de los trabajos de uno de los comités. Los trece capítulos tratan en detalle los diversos aspectos del uso de los oceanos como lugares para la eliminación de substancias radiactivas artificiales, así como las técnicas para la utilización de los trazadores, tanto para la medición de los procesos físicos y químicos que tienen lugar en el mar y en la atmósfera como en los experimentos biológicos en gran escala.

Extra Pharmacopoeia, Vol. I (24ª edición). XXX+1695 págs. The Pharmaceutical Press, Londres. 1958. 65s.

Esta obra ha sufrido una revisión completa desde su anterior edición. Uno de los cambios es que, a semejanza de la *British Pharmacopoeia* y el *British Pharmacopoeia Codex*, se usa el inglés, en vez del latín, en los títulos principales de las drogas. Incluye una lista de los cambios contenidos en la *British Pharmacopoeia*, una lista de medicamentos, sus dosis y usos, y secciones especiales sobre los antibióticos, los productos inmunológicos y los isótopos radiactivos. Hay un índice terapéutico y otro especial.

LOVELACE, A. M., POSTELNEK, W. y RAUSCH, D. A.: *Aliphatic Fluorine Compounds.* X+370 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman & Hall Ltd., Londres. 1958. 100s.

La preparación y propiedades de todos los compuestos orgánicos no aromáticos del flúor están recogidas en este libro, el cual no contiene detalles prácticos de las preparaciones, pero señala las referencias; incluye además 60 tablas que indican las propiedades físicas de unos 4500 compuestos orgánicos con flúor.

SAVIDAN, L.: *La chromatographie.* VII+109 págs. Dunod, París. 1958. Frs. 680.

La primera sección de este libro trata de la teoría cromatográfica, y a continuación se describen los métodos, aparatos y aplicaciones de esta nueva técnica. Esta obra no se propone sustituir los textos clásicos de consulta, sino más bien servir de introducción a esta materia para uso de los estudiantes de química, químicos y biólogos que precisen un estudio general de tal especie.

COMAR, C. L.: *Atomic Energy and Agriculture.* X+450 págs. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C.; Bailey Bros. & Swinfen Ltd., Londres. 1957. 86s.

Contiene la reseña de un simposio celebrado en Atlanta en Diciembre de 1955 e incluye 22 ponencias cuyos temas son, entre otros, el uso de los isótopos radiactivos en la investigación agrícola, el procesado radiactivo de los productos alimenticios, y la solubilidad y utilización por las plantas de los micronutrientes. Los trabajos van acompañados de extensas bibliografías.

JUNG, J.: *Précis de pétrographie.* 314 págs. Masson et Cie, París. 1958. En rústica, Frs. 3600; en pasta, Frs. 4600.

Se trata de un texto introductorio para uso de los estudiantes y se refiere al empleo del microscopio de polarización en petrografía. Muestra la utilidad de este instrumento para la obtención de datos sobre la constitución mineralógica de las rocas, su historia e interrelaciones. Contiene numerosas ilustraciones a línea y medio-tono y un extenso índice.

Notas sobre los colaboradores

GLENN T. SEABORG

Estudió en la Universidad de California. Es codescubridor de nueve elementos transuránicos, incluyendo el plutonio, y de los isótopos físiles ^{239}Pu y ^{233}U. A él se debe también la noción de actínido y la ubicación de los elementos más pesados en la Tabla Periódica. En 1951 recibió, en compañía de E. M. McMillan, el Premio Nobel de Química por sus trabajos con los elementos transuránicos. También contribuyó especialmente al desarrollo de los métodos químicos usados en la separación del plutonio en Clinton (Tennessee) y Hanford (Washington) durante la guerra. Fue miembro del Comité Asesor General de la Comisión de la Energía Atómica de los Estados Unidos, desde 1946 a 1950. En 1945 fue nombrado catedrático de química en el Departamento de dicha ciencia y Director Adjunto del Laboratorio de Radiaciones de la Universidad de California, en Berkeley, en 1954. Desde 1945 a 1958 ha sido Director de Investigaciones de Química Nuclear en el Laboratorio de Radiaciones. En la actualidad es Rector de la Universidad de California, en Berkeley.

E. N. DA C. ANDRADE

Nació en Londres en 1887 y estudió en las universidades de Londres, Mánchester y Heidelberg, y en el Laboratorio Cavendish de Cambridge. En 1928 fue nombrado catedrático de física de la Universidad de Londres, donde estableció una escuela de física, conocida por sus investigaciones fundamentales sobre las propiedades mecánicas de los estados sólido y líquido. En enero de 1950 fue nombrado Director de la *Royal Institution of Great Britain* y del Laboratorio de Investigaciones Davy-Faraday, cargos a los que renunció en 1952. Es miembro de la *Royal Society* y miembro correspondiente de la *Académie des Sciences, Institut de France*.

B. E. JUNIPER

Nació en 1932 y estudió en la Universidad de Oxford. En la actualidad realiza investigaciones en la Escuela de Botánica de Oxford sobre la retención de los líquidos en las superficies foliares en relación con el uso de yerbicidas.

N. D. OPDYKE

Nació en 1932 y estudió en Nueva Jersey, Estados Unidos. Se graduó en geología en la Universidad de California en 1955 y a continuación pasó tres años haciendo investigaciones sobre paleoclimatología en la Universidad de Durham. En la actualidad es profesor-investigador en el Departamento de Geología del Instituto Rice, Houston, Texas.

S. K. RUNCORN

Nació en 1922 y estudió en la Universidad de Cambridge. Desde 1943 a 1946 realizó investigaciones sobre el radar al servicio del Gobierno británico. A continuación pasó a formar parte del personal docente de la Universidad de Mánchester como profesor de física. Allí comenzó a interesarse en los problemas del campo magnético terrestre, sobre los cuales ha continuado desde entonces sus investigaciones. Desde 1948 a 1955 enseñó en los colegios Gonville y Caius de la Universidad de Cambridge, y en 1949 fue nombrado Director Adjunto de Investigación en el Departamento de Geodesia y Geofísica de dicha Universidad. En 1952 y 1953 ocupó el cargo de Investigador en Geofísica en la Universidad de California, Los Angeles. En la actualidad es catedrático de física y Director del Departamento de Física en la Universidad de Durham.

H. C. KING

Nació en Londres en 1915 y estudió en esa universidad. Durante siete años ocupó el cargo de profesor auxiliar de óptica oftálmica en el Northampton College of Advanced Technology, de Londres, y en la actualidad es profesor conferenciante en el Planetario de dicha ciudad. Es autor de numerosas publicaciones sobre cuestiones de óptica, sobre planetarios y sobre la historia de la ciencia.

V. A. AMBARTSUMYAN

Nació en 1908. Es Presidente de la Academia Armenia de Ciencias y miembro de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética. En 1945 fue nombrado Director del Observatorio Biuracan, cerca de Erevan (Armenia), y en 1946 y 1950 recibió los Premios Stalin por sus investigaciones sobre la dispersión de la luz en atmósferas nubosas y sobre las «asociaciones» estelares respectivamente. En 1948 fue nombrado Vicepresidente de la Unión Internacional de Astronomía. Sus numerosas obras tratan de las propiedades de las nebulosas, la dinámica de los sistemas estelares, y la estructura de las estrellas.